

Universidad Pública de Navarra

Nafarroako Unibertsitate Publikoa

**ESCUELA TECNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS AGRONOMOS**

**NEKAZARITZAKO INGENIARIEN
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKO**

Puesta a punto de una metodología de teledetección espacial
para la identificación de la gramínea
Brachypodium pinnatum (L.) en pastos pirenaicos.

presentado por

..... Mikel Viñuales Lasheras.....(e)k

aurkeztua

INGENIERO TÉCNICO AGRÍCOLA EN EXPLOTACIONES AGROPECUARIAS
*NEKAZARITZAKO INGENIARI TEKNIKO NEKAZARITZA ETA
ABELTZAINZA USTIAPENAK BEREZITASUNA*

Noviembre de 2010 / 2010ko azaroa

Trabajo Final de Carrera realizado por Mikel Viñuales Lasheras, con el fin de obtener la titulación de Ingeniero Técnico Agrícola en Explotaciones Agropecuarias en la Universidad Pública de Navarra.

Este trabajo ha sido codirigido por los profesores de la UPNA
Rosa María Canals y Jesús Álvarez.

Brachypodium pinnatum (L.) es una gramínea nativa perteneciente a la familia de las poáceas ampliamente distribuida en los pastos de la zona templada europea.

El Valle de Aezkoa presenta un clima subatlántico de alta montaña, caracterizado por inviernos largos y fríos y veranos templados. Se trata de un clima idóneo para *B.pinnatum*, que ha convivido en estas zonas a lo largo de los años con el resto de flora natural formando comunidades pascícolas muy diversas.

En los últimos veinte años se han documentado procesos de expansión y dominancia de esta especie, tanto en los pastos de Aezkoa como en otras comunidades pascícolas europeas. Nos encontramos en la actualidad ante un proceso de expansión de *B.pinnatum*, que podría deberse a diferentes causas entre las que se citan una disminución de la presión pastoral y las quemas controladas que se realizan en invierno en distintos puntos del Pirineo con el objetivo de tratar de desbrozar y mejorar la calidad de los pastos.

Esta colonización está causando un grave problema, ya que la especie se expande formando unos grandes rodales monoespecíficos que por un lado, disminuyen la riqueza y diversidad de los pastos y por otro, limitan su aprovechamiento ganadero debido a la rápida pérdida de palatabilidad de *B.pinnatum*.

El objetivo de este TFC es el de poner a punto una metodología que facilite la identificación de *B.pinnatum*, en base a técnicas de teledetección espacial. Para ello se procesaran imágenes captadas por el sensor ASTER en el Monte de Aezkoa.

Mediante este trabajo, se pretende definir las mejores bandas y puntos del espectro para la identificación mediante imágenes captadas por satélite de *B.pinnatum*. Una vez definida la banda y punto espectral óptimo, se facilitará mucho la identificación de los rodales de esta especie, lo que posibilitará observar su evolución y comportamiento en el tiempo. Esta metodología puede ser de gran utilidad para futuros estudios de esta gramínea.

ÍNDICE

1.Antecedentes.....	5
2.Introducción.....	8
2.1 Problemática ambiental.....	9
2.2 Las plantas invasores alóctonas.....	9
2.3 Una nueva situación ante el cambio global.....	10
2.4 El control de plantas invasoras.....	10
2.5 <i>B. pinnatum</i> , una planta invasora.....	11
2.5.1 Características botánicas.....	11
2.5.2 Distribución y expansión.....	12
2.5.3 Características de <i>B. Pinnatum</i>	13
2.5.4 Métodos de Control.....	17
2.6 Teledetección.....	20
2.6.1 Historia de la teledetección.....	20
2.6.2 Componentes de un sistema de teledetección.....	22
2.6.3 Tipos de sensores.....	23
2.6.4 Procesamiento digital de imágenes.....	27
2.6.5 Aplicaciones de teledetección.....	28
3.Objetivos.....	31
4.Materiales y Métodos.....	33
4.1 Materiales.....	34
4.1.1 Área de estudio.....	34
4.1.2 Imágenes y cartografía de referencia.....	38
4.1.3 Software empleado.....	43
4.2 Métodos.....	44
4.2.1 Pre-procesamiento de la imagen Aster.....	44
4.2.2 Extracción cuantitativa de la imagen.....	52
5.Resultados y Discusión.....	58
5.1 Valores de reflectancia para todas las cubiertas.....	59
5.2 Análisis del <i>B.pinnatum</i>	60
5.3 Diferencia normalizada.....	61
5.3.1 Criterios de discriminación.....	62
5.3.2 Clasificación de bandas.....	65
5.3.3 Análisis de los resultados diferencia normalizada....	75
5.4 Discriminación de bandas.....	79
6.Conclusiones.....	80
7.Bibliografía.....	82
8.Anexos.....	87
8.1 Anexo I.....	88
8.2 Anexo II.....	90

ANTECEDENTES

1. ANTECEDENTES

El equilibrio de los ecosistemas se basa fundamentalmente en cuatro factores: suelo, clima, asociación entre especies o biocenosis, y las modificaciones antrópicas de las mismas (Ibáñez. 2009). Equilibrio que se rompe con la alteración de cualquiera de estos factores. El impacto negativo producido por algunas plantas invasoras en los pastos ha sido objeto de estudio en las dos últimas décadas. Este trabajo está relacionado con una gramínea muy extendida en los pastos templados europeos. Estamos hablando del *B. pinnatum*, una planta autóctona que, en determinadas zonas, ha pasado a ser una planta invasora.

En estos últimos años, esta gramínea ha ido colonizando pastos de las zonas climáticas templadas, convirtiendo la biodiversidad del ecosistema en una cubierta monofita en la que predominan los rodales de esta especie.

Las diferentes administraciones, conscientes de los graves problemas causados por el *B. pinnatum*, animan a los investigadores para que analicen el comportamiento de esta planta invasora y propongan las medidas más adecuadas para controlar la invasión.



Imagen 1. Rodales de *B. pinnatum* en los pastos de Aezkoa.
Foto realizada en la visita a campo por Jesús Álvarez.

Los Puertos de Aezkoa (Imagen 1) han sido los lugares elegidos para realizar nuestro trabajo, ya que el Grupo de Pastos y Forrajes de la UPNA ha participado en la elaboración del Proyecto de Ordenación Pascícola de los comunales de este valle pirenaico y ha constatado la problemática existente. De este proyecto ha surgido la idea de realizar un estudio para cuantificar la expansión de *B. pinnatum* por medio de imágenes de satélite. Este TFC es el primer fruto de una colaboración entre el Dpto. de Producción Agraria y el Dpto. de Desarrollo Rural y Proyectos de la UPNA.

INTRODUCCIÓN

2. INTRODUCCIÓN

2.1 La problemática ambiental

Se puede afirmar que la progresiva introducción de nuevas especies de flora y fauna está produciendo, a nivel mundial, cambios muy importantes en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas, lo que puede conllevar el deterioro de los mismos y, en casos extremos, su destrucción (Sanz et al., 2006).

Esta introducción se ha producido generalmente por causas antrópicas. Podríamos decir que, gracias a la actividad humana, las especies han atravesado océanos, desiertos y cordilleras, adaptándose a nuevos ecosistemas (Sanz et al., 2006). Esto ha conllevado la desaparición de determinadas especies autóctonas y la homogeneización de la biosfera.

2.2 Las plantas invasoras alóctonas

Cronk y Fuller (1995) definen la planta alóctona invasora como aquella inicialmente ajena a un ecosistema que se reproduce y expande de manera natural, sin la ayuda directa del hombre, en ambientes naturales y seminaturales y que produce algún cambio significativo o alguna perturbación en lo que se refiere a la composición, estructura o funcionamiento del ecosistema.

Una definición más reciente es la que realizó la “*International Union for Conservation of Nature*” en 2002. Se define como invasora aquella especie introducida por el ser humano en un lugar diferente al de su área de distribución natural y que consigue establecerse, dispersarse exitosamente y monopolizar los recursos, empobreciendo gravemente y resultando dañina para el ecosistema nativo.

La regla de los dieces (Williamson, 1996) nos dice que el 10 % de las especies introducidas llega a naturalizarse, y de éstas, el 10 % a su vez, llegan a ser invasoras. Algunos ejemplos nos pueden dar una idea de la magnitud del problema ocasionado por las invasiones biológicas. En la región mediterránea, se introducen regularmente centenares de plantas exóticas con fines diversos (Jauzien, 1998) y en algunas zonas tropicales y subtropicales, las especies alóctonas pueden suponer el 50% de la flora, tal como sucede en Nueva Zelanda (Heywood, 1989). En un entorno más próximo a nosotros, en algunas

comarcas de la costa mediterránea la flora alóctona llega al 20% del total (Sanz et al., 2002) y en la península Ibérica hay, al menos, 123 especies vasculares exóticas naturalizadas causando daños ecológicos en nuestros ecosistemas (Sanz et al., 2004).

La globalización también ha llegado al mundo de la flora y fauna. Plantas y animales procedentes de otras latitudes han ido poblando, modificando y en cierta medida homogeneizando los ecosistemas del mundo. Datos del proyecto DAISIE (Delivering Alien Invasive Species Inventories for Europe), en marcha desde 2005 para inventariar todas las especies exóticas introducidas en Europa desde 1492, incluye en su lista a 10.961 especies de animales, plantas y microorganismos, de los que 1.400 se encuentran en España (Fernández-Muerza, 2010).

2.3. Una nueva situación ante un escenario de cambio global: las invasiones causadas por plantas autóctonas

La mayoría de los países europeos se enfrentan a un gravísimo problema ecológico, ya que, mientras algunas especies autóctonas desaparecen, hay otras que se expanden colonizando ecosistemas. El manejo (cambios en la intensidad de pastoreo, terrenos labrados y abandonados, etc.) y determinados factores climáticos (aumentos de temperatura, escasez de lluvias, etc.) favorecen la invasión. Algunas especies nativas de un ecosistema y que estaban en equilibrio con él, acaban convirtiéndose en invasoras porque, se adaptan mejor que el resto de las especies a estos cambios.

Este nuevo escenario medioambiental anula las anteriores acepciones de planta invasora, como aquella que proviene de ecosistemas diferentes y coloniza otros territorios, ya que algunas especies autóctonas también se comportan como invasoras dentro de su propio hábitat.

2.4 El control de las plantas invasoras

La generalización de las invasiones biológicas a muchos ecosistemas de nuestro planeta, ha propiciado que, en esta última década, hayan proliferado los estudios sistemáticos, normalmente basados en experimentos, sobre plantas invasoras. Estos estudios por una parte, intentan definir las características de dichas plantas, y por otra, aplicar las técnicas más adecuadas para la prevención y control de las mismas.

Nos enfrentamos a un grave problema ambiental. Los estudios que luego analizaremos, constatan que el tratamiento paliativo de las invasiones (métodos físicos, químicos o biológicos) no producen los resultados esperados y que resulta muy difícil recuperar aquellos ambientes naturales que se han deteriorado por invasiones biológicas. Por tanto, deberíamos intensificar los métodos preventivos, primando y subvencionando las iniciativas y proyectos orientados a evaluar y prevenir el riesgo de invasión de las comunidades naturales de cada entorno.

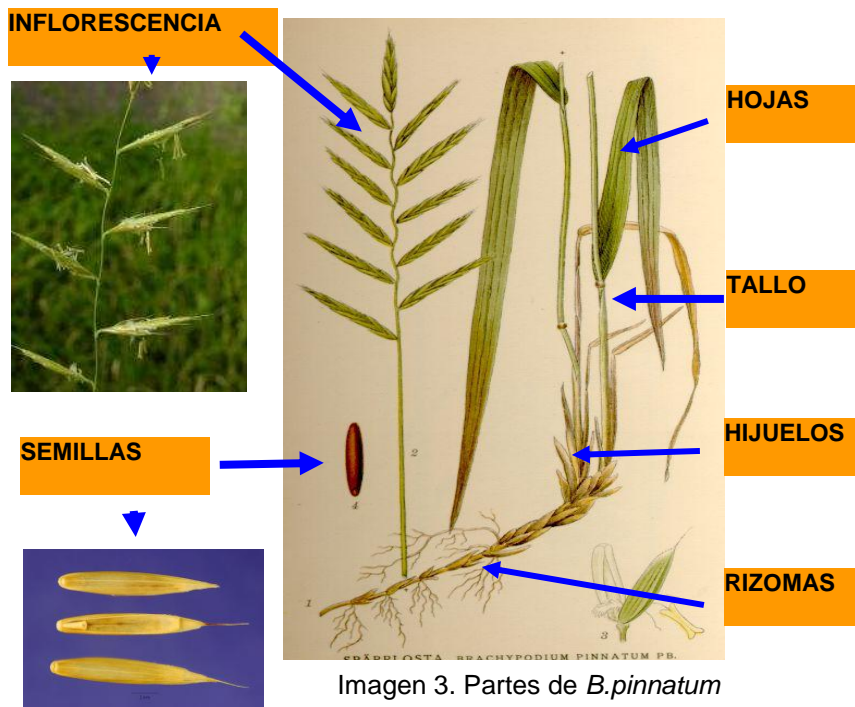
2.5 *B. pinnatum*, una planta invasora



Imagen 2. Rodales de *B. pinnatum* en la sierra de Roncal.
Foto cedida por Rosa María Canals profesora de la UPNA.

2.5.1 Características botánicas

Planta de la familia de las gramíneas. Su altura oscila entre 40 y 80 cm. Tiene un tallo cilíndrico, erecto y ascendente. Sus hojas alargadas pueden alcanzar los 40 cm, con una anchura entre 2-10 mm. Dispone de ocho a quince inflorescencias en espiga, con seis o siete espiguillas en cada inflorescencia. Su cariósipide tiene una forma elipsoidal (Imagen 3). Se reproduce vegetativamente mediante hijuelos y, sexualmente mediante semillas (es auto-incompatible). Tiene un rizoma alargado que se extiende bajo tierra para una mejor captación de nutrientes. Puebla los terrenos calcáreos y debido al color verde-amarillento de sus hojas, es fácilmente identificable en las laderas de los montes. La etimología de su nombre latino proviene del griego: “*Brachy*” significa corto y “*podion*” pies. Un nombre, “*Patatas cortas*”, que hace referencia a los pedicelos de sus pequeñas espiguillas.



2.5.2 Distribución y expansión de *B. pinnatum*

Aunque la implantación de *B. pinnatum* es mayor en las regiones templadas (zonas marcada en azul en la imagen 4), podemos afirmar que la expansión de esta gramínea ha colonizado pastos de la mayoría de los países. La presencia de suelos calizos favorecen su alta reproducción y sólo el clima extremadamente frío parece limitar su expansión.

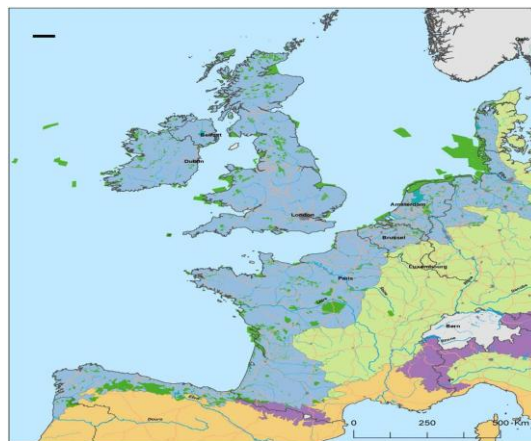


Imagen 4. Mapa bioclimático de Europa.

El norte de la península Ibérica, las dos vertientes de la cornisa cantábrica y los Pirineos, son zonas en las que podemos encontrar pastos con esta especie. En Navarra lo situaríamos en las comarcas de Basaburua, Erro, Quinto Real, Aezkoa, Salazar y Roncal.

2.5.3 Características de *B. pinnatum*

2.5.3.1 El experimento realizado en la reserva natural de Gerendal

En la reserva natural de Gerendal situada en la provincia de Lienenburg al sur de Holanda, un grupo de científicos inició en 1970 un experimento para cuantificar la invasión de *B. pinnatum* en esta zona. Se trataba de analizar la evolución de las especies herbáceas en unos campos abandonados que, durante muchos años habían sido utilizados para el pastoreo y producción de forraje. A los diez años, se comprobó que *B. pinnatum* ocupaba el 80% de la cubierta, bajando la diversidad de las especies en un 40%. Pasados veinte años, la colonización de *B. pinnatum* llegaba casi al 100% y el total de las demás especies se situaba por debajo del 10%. El resultado ratifica que esta gramínea invasora también está ganando dominancia en los pastos holandeses abandonados (Bobbink y Willems, 1991, 1993). ¿Qué características posibilitan la agresividad colonizadora de esta especie?

2.5.3.2. Algunas características de la morfología

A continuación, se enumeran diferentes características de esta especie que podrían justificar su expansión.

A) Una biomasa aérea importante

La altura de la planta, su abundancia en hojas y su agrupación en rodales hace que *B. pinnatum* intercepte un 80% de la luz solar recibida a 40 cm de la superficie del suelo. Esta dominancia en la captación de la luz, reduce de forma relevante la cantidad de radiación solar que llega a otras plantas que pueblan los estratos inferiores (Bobbink et al., 1998).

B) Gran extensión de rizomas micorrizados

B. pinnatum, gracias a sus extensas raíces rizomatosas, puede absorber más y mejor el nitrato de otras zonas y traslocarlo a través de ellas (Hurst y John, 1998). Además, el hecho de que tenga altas tasas de infección micorrízica (Bukland et al., 2001), aumenta su capacidad de recibir nutrientes minerales del suelo.

C) Abundancia de necromasa

La necromasa que rodea las plantas vivas de *B. pinnatum* (Imagen 5), tiene efectos directos en la estructuración de los pastos (Van der Hoeven et al., 1990; Hurst, 1997), ya que por una parte, reduce sustancialmente la germinación y desarrollo de determinadas especies y por otra, protege a los hijuelos de *B. pinnatum* que están naciendo y podrían ser palatables para el ganado (During y Willems, 1984). Además, esta necromasa presenta una alta relación C/N, debido a la retraslocación del N a las raíces antes de la senescencia.

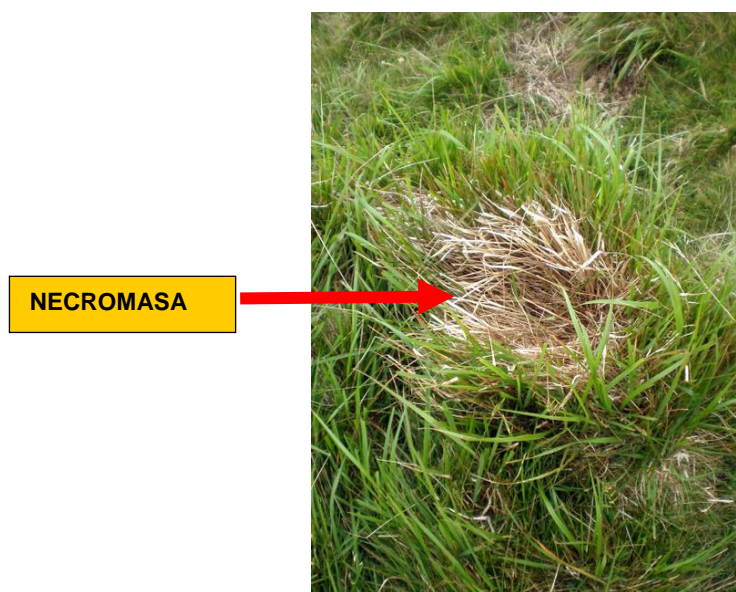


Imagen 5. Necromasa de *B. pinnatum* en los pastos de Aezkoa.
Foto cedida por Jesús Álvarez, profesor de la UPNA

2.5.3.3 Utilización de nutrientes

La expansión de las plantas invasoras está íntimamente relacionada con la eficaz utilización de los nutrientes edáficos limitantes en condiciones naturales: el nitrógeno y el fósforo.

A) Uso eficaz del nitrógeno

Un experimento realizado en tres zonas del condado de East Sussex, al sureste de Inglaterra, constató que un elevado aporte de nitrógeno aumentaba la capacidad invasora de *B. pinnatum*, mientras que descendía la riqueza y diversidad de las demás especies. Sólo dos gramíneas *Dactylis glomerata* y

Holcus lanatus reaccionaron favorablemente ante el aporte de nitrógeno. Este experimento sugiere que *B. pinnatum* es capaz de monopolizar la deposición de nitrógeno atmosférico que ocurre en el norte de Europa, mediante una rápida absorción y posterior almacenamiento en su extendida masa rizomatosa (Bobbink et al., 1988).

B. pinnatum no sólo parece aprovechar eficazmente el nitrógeno, sino que además, enriquece el sustrato con elevados aportes de carbono orgánico, funcionando como potentes sumideros de carbono (García-Pausas et al., 2007).

B) Alta capacidad para adquirir el fósforo

El fósforo es un nutriente muy poco móvil que se encuentra mayoritariamente en formas precipitadas inorgánicas o inmovilizado en la materia orgánica (Aerts y Chapin, 2000). *B. pinnatum*, gracias a su alta infección micorrízica, posee también una alta capacidad de adquisición de fósforo (Bobbink, 1991).

2.5.3.4 Una planta adaptada a terrenos bajos en nutrientes

En los pastos sobre sustrato calizo, en Holanda y suroeste de Inglaterra, y en suelos limitados en fósforo la dominancia del *B. pinnatum* está muy extendida (Grime y Curtis, 1976, Bobbink, 1991).

En Derbyshire, cerca de Buxton, en un experimento en el que se sembraron 36 semillas en diferentes parcelas sometidas a manipulaciones climáticas y aportaciones de nutrientes (NPK), *B. pinnatum* se extendió en todas las parcelas y a pesar de los cambios climáticos, se propagó con fuerza en todas las zonas sin fertilizar (Buckland et al., 2001).

El hecho de que *B. pinnatum* se adapte a zonas de baja fertilidad, se puede explicar por su baja tasa de crecimiento (Ryser y Lamberts, 1995). Su capacidad de reducir de forma considerable la relación N/P en la biomasa foliar, posibilita que sus órganos, en una primera fase, crezcan más lentamente, lo que conlleva una reducción en el requerimiento de nutrientes.

Esta baja necesidad de nutrientes en combinación con su eficiente absorción de los recursos edáficos posibilita que esta planta se expanda en suelo bajos en nutrientes (Ryser y Lamberts, 1995).

2.5.3.5 Dos formas de reproducirse

La capacidad de reproducirse vegetativamente y mediante semillas (el número de producción de semillas viables es elevado), también puede explicar la expansión agresiva de *B. pinnatum*.

Un experimento realizado en un laboratorio que la Universidad de Sheffield tiene cerca de la ciudad de Buxton (Imagen 6), ha constatado que las dificultades de *B. pinnatum* de expandirse hacia el norte son debidas a la auto-incompatibilidad de la especie y no a una falta de adaptación a las condiciones climáticas (Buckland et al., 2001). El hecho de que *B. pinnatum* tenga dificultad para sobrepasar la línea de Derbyshire y seguir su expansión hacia el norte donde abundan los suelos calizos, hizo que el centro de Buxton, que estudia la influencia del cambio climático en las comunidades de plantas, realizara un experimento para conocer si el clima era la causa de la no expansión. Se sembraron semillas en parcelas de mayor altitud que Derbyshire, frontera de expansión de la especie, y se comprobó que las semillas germinaron, por lo que el clima no parecía ser el causante de la falta de expansión de la especie hacia el norte.



Imagen 6. Universidad de Sheffield.
Laboratorio de Buxton Climate Change Impacts..

2.5.3.6 Escasa palatabilidad para el ganado

Anteriormente hemos comentado la abundancia de necromasa en esta especie. Esta necromasa presenta altas tasas de C y estructuras de lignina difíciles de digerir. Esto hace que los animales que pastan libremente en estos

montes (Imagen 7), no consuman preferencialmente esta especie o incluso la rechacen. Esta escasa palatabilidad de los rodales de *B. pinnatum* favorece su expansión y protege los nuevos brotes que sí podrían ser consumidos por el ganado (During y Willems, 1984).



Imagen 7. Ganado atravesando un pasto de *B. Pinnatum*
Foto cedida por Jesús Álvarez, profesor de la UPNA

2.5.4 Métodos de Control

Expondré brevemente los métodos de control propuestos por algunos científicos para solucionar el grave problema ecológico derivado de la invasión de *B. pinnatum*.

2.5.4.1 Métodos físicos

A) Corte de la planta en agosto

Algunos experimentos realizados en pastos de *B. pinnatum* han demostrado que el corte de esta planta realizada a mediados de agosto, antes de que los nutrientes de la parte aérea se retrasloquen, puede ser una forma de ir debilitando su expansión. Pasados unos años, se apreciaba que su competencia no era tan agresiva y se apreciaba una recuperación de las plantas del ecosistema (Willems, 2001).

B) Remoción de su necromasa

Remover y retirar la necromasa es una buena medida para debilitar la expansión de *B. pinnatum*, ya que quedarían al descubierto los brotes jóvenes de la planta que podrían ser consumidos por el ganado (Hurst y John, 1998).

C) Evitar la quema periódica de los pastos

Desde hace tiempo y todavía hoy, en los meses de febrero y marzo, se sigue haciendo la quema de pastos a un lado y a otro de los Pirineos para que en primavera brote la hierba fina que consumirán los ganados en los puertos. ¿Pero cuál es el comportamiento de *B. pinnatum* en suelos que han sido arrasados por el fuego controlado? Un experimento realizado en 1974 nos lo puede aclarar. En seis parcelas con un mismo porcentaje de *B. pinnatum* (5%) se realizaron durante algunos años diferentes manejos tales como siegas diversas, quema controlada de una parcela, no manipulación de otras, etc. En una valoración realizada en 1994, se constató que la parcela más colonizada por *B. pinnatum* era la que había sido quemada año tras año durante los meses de febrero-marzo, ocupando la especie un 71% de la parcela y con una producción de semillas por m² muy elevada (Schläpfer y Fischer, 1998). Este experimento pone en tela de juicio la práctica de quemar nuestros pastos en invierno, ya que se pueden impulsar nuevas invasiones de *B. pinnatum* en las superficies quemadas.

2.5.4.2 Métodos químicos

A) Utilización de herbicidas (glifosato)

En el Reino Unido se han hecho algunos experimentos utilizando este herbicida de contacto no residual para controlar la expansión de *B. pinnatum* y posteriormente, reestablecer la antigua flora de los pastos. La aplicación de este potente herbicida durante cinco años en cuatro parcelas en las que dominaba *B. pinnatum* permitió sacar algunas conclusiones.

Se constató que, tras la aplicación del herbicida, decrecía el número de plantas de *B. pinnatum*, y que volvían a brotar, aunque con menos fuerza, las especies que ya existían antes del tratamiento, y que además, también nacían algunas nuevas plantas. Sin embargo, pasados algunos años de nuevo *B. pinnatum* volvía a mostrar su dominancia en las parcelas, lo que demostraba que la erradicación de esta planta invasora no era tarea fácil.

Los expertos confiaban en que la sistemática aplicación del glifosato acabaría debilitando a la planta, como sucede en el caso de la gramínea

Elytrigia repens, especie muy difícil de erradicar, que guarda muchas semejanzas con *B. pinnatum* y que invade los cultivos y campos abandonados (Tardif y Leroux, 1990). El tratamiento debe realizarse al final del periodo de crecimiento, cuando la planta realiza la traslocación de los nutrientes desde las hojas a los rizomas (Bobbink et al., 1989).

2.6 Teledetección

El ser humano siempre ha soñado con poder volar. Quería sentirse libre surcando los cielos y observando el planeta tierra desde las alturas. Aunque las alas de cera no consiguieron su anhelado sueño, a lo largo de la historia se han ido dando pasos para conocer el mundo desde las alturas

En este camino hacia la conquista del cielo primero llegaron los globos, después los aviones que cruzaron los mares, para llegar, gracias a la tecnología, a las naves espaciales y los satélites que orbitan alrededor de la Tierra.

Para captar imágenes desde el cielo también contamos con la teledetección. Una técnica que puede definirse (De Lara y Soriano, 1986) como el conjunto de técnicas que permiten identificar un objeto sin contacto físico con él, mediante la energía electromagnética reflejada o emitida por el mismo. El espectro electromagnético se extiende desde los rayos ultravioletas hasta el campo de las microondas. Existen sensores que operan en las diferentes regiones del mismo.

2.6.1 Historia de la teledetección

La historia de la teledetección se remonta a 1859, cuando Gaspar Félix Tournachon utilizó un globo para realizar las primeras fotografías aéreas de la ciudad de París. Gaspar intuyó la posibilidad de la aplicación de la fotografía aérea a los levantamientos topográficos y catastrales.

En el año 1909, Wilburg Wright realizó la primera fotografía desde un avión. Durante los siguientes años y sobre todo en las dos guerras mundiales, las fotos tomadas desde los aviones se convirtieron en una fuente de información crucial para conocer los movimientos de las tropas y lugares estratégicos.

El año que marcó la puesta en marcha de la teledetección fue el 1957 con el lanzamiento del satélite *Sputnik*, primer satélite artificial puesto en órbita alrededor de la tierra por la Unión Soviética.

En 1960, la NASA lanzó al espacio un primer satélite de observación. A partir de 1979, los satélites de esta familia pasaron a denominarse NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*). Durante esta década también se realizaron múltiples misiones espaciales tripuladas, en las que se aportaron más de 35.000 imágenes.

Más tarde, en el año 1969 las misiones denominadas Apollo ensayaron nuevos experimentos científicos, destacando la del Apollo 9, en la que se realizó la primera experiencia de *fotografía orbital multiespectral* para el estudio de los recursos terrestres.

Los resultados obtenidos en el estudio de recursos naturales terrestres con los datos de los primeros satélites y las misiones tripuladas, impulsaron el desarrollo en 1972 por la NASA del programa ERTS (*Earth Resources Technology Satellite*), rebautizada como Landsat a partir de 1975. El primer satélite específicamente dedicado a la observación de los recursos naturales, fue precisamente Landsat 1, que fue puesto en órbita el 23 de julio de 1972 y estuvo operativo hasta principios de 1978. El último de la serie, el Landsat 7 se lanzó al espacio el 15 de abril de 1999.

Vista la utilidad de los datos suministrados por los satélites de la serie Landsat, son numerosos los países que han decidido disponer de medios propios de teledetección, entre los que cabe destacar los siguientes satélites (Vivancos et al., 2005; Martínez et al., 2010):

- SPOT lanzado por Francia con la colaboración de Bélgica y Suecia en 1986.
- ERS lanzado en 1991 por la Agencia Espacial Europea con la intención de complementar los sensores ópticos embarcados en Landsat y SPOT.
- El RADARSAT canadiense en 1995 y el IRS de la India lanzado en marzo de 1993.
- En septiembre de 1999, se lanza el satélite IKONOS-2, con 1 metro de resolución espacial. De esta manera se inauguró el mercado de los satélites comerciales de teledetección.
- El mismo año que el IKONOS-2, la NASA, en un esfuerzo cooperativo con el METI (Ministerio de Comercio Economía e Industria de Japón), puso en marcha la misión ASTER con el lanzamiento del satélite TERRA. El objetivo de éste era mejorar la observación de los procesos a escala local y regional que ocurren sobre o cerca de la tierra y en la atmósfera inferior, incluyendo la interacción superficie-atmósfera.
- En octubre de 2001, la empresa Digital Globe lanza el satélite Quickbird, con dos cámaras de alta resolución espacial.

Cabe añadir que a lo largo de esta última década se han producido nuevos lanzamientos de satélites sucesores de éstos y también se han puesto en órbita otros nuevos satélites.

2.6.2 Componentes de un sistema de teledetección

Para poder obtener un registro con cualquier dispositivo de sensores remotos hace falta una serie de componentes (Figura 1).

- El primer componente es la fuente de energía. La más habitual es el sol (elemento a), en cuyo caso se habla de teledetección pasiva ya que los sensores dependen de esta fuente de energía externa. Los sensores activos (elemento d) emiten un pulso de radiación a la superficie terrestre y reciben la señal de retorno.
- El segundo, la cubierta terrestre (elemento c). Cada grupo de objetos de la cubierta (masas de vegetación, mantos de nieve, cuerpos de agua, suelos o superficies urbanas), dependiendo de sus características y naturaleza reaccionan de forma distinta ante el flujo de energía incidente (elemento b). Una parte de este flujo es absorbido por los objetos, otra es transmitida a los objetos vecinos y finalmente otra parte del flujo es reflejada.

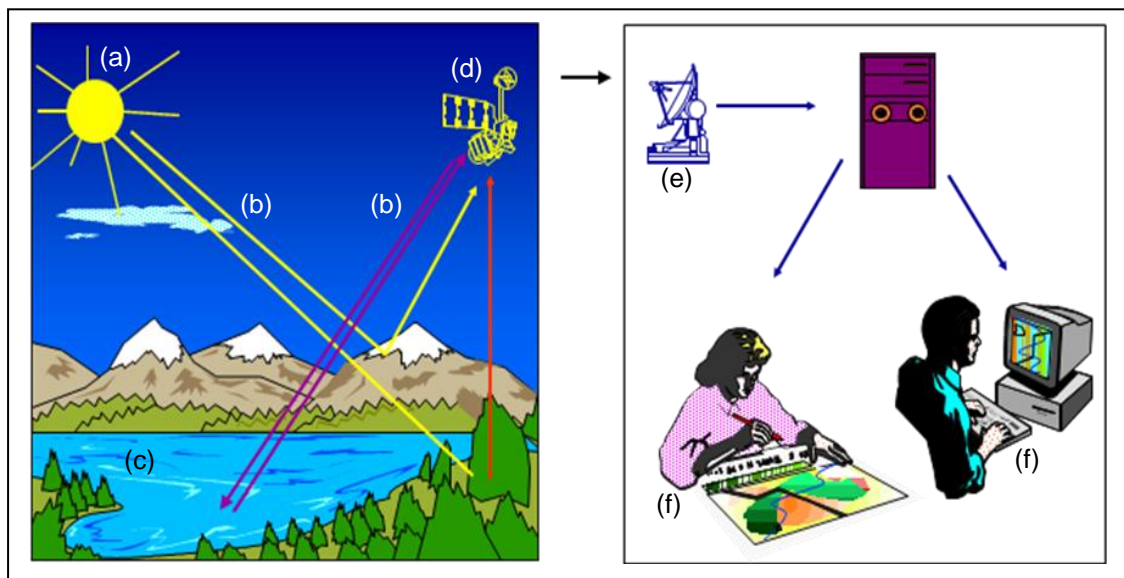


Figura 1. Componentes de un sistema de teledetección.
Fuente: Fichas de Teledetección y SIG en Agronomía.
María González de Audicana

- La energía reflejada es captada por el sensor, tercer componente, (elemento d) y codificada digitalmente en un rango cuyos valores dependen de la resolución radio-métrica del sensor. Si los cuerpos reflejan poca energía los valores registrados por el sensor serán bajos y viceversa.
- Los datos digitales almacenados a bordo son enviados, periódicamente, a las estaciones receptoras (elemento e), distribuidas convenientemente en la superficie terrestre (cuarto componente), Aquí se graban los datos y tras diversos procesos, son distribuidas a los usuarios.
- Una vez que los usuarios (quinto componente) poseen las imágenes, mediante diferentes programas informáticos y su propia interpretación realizan el tratamiento de las imágenes (elemento f).
- Finalmente, nos encontramos con el sexto componente, el usuario final. Este recibe las imágenes procesadas y la información derivada de las mismas, con objeto de tomar decisiones a cerca de planificación del territorio, ordenación de recursos naturales, inventarios forestales, etc.

2.6.3 Tipos de sensores

2.6.3.1 Clasificación de sensores

La clasificación de los sensores remotos se puede realizar según las siguientes características.

A) Aerotransportados (Airborne) y espaciales (Spaceborne)

Esta clasificación esta determinada de acuerdo a la plataforma donde se ubique el sensor (Universidad Nacional de Rosario. 2002)

Aerotransportados: las plataformas utilizadas pueden ser helicópteros, avionetas o aviones. Tienen una alta resolución espacial, pero una resolución temporal muy variable. Su coste suele ser generalmente elevado.

Espaciales: las plataformas utilizadas en estos sistemas son naves espaciales, estaciones orbitales o sobretodo satélites que giran alrededor de la Tierra.

B) Región del espectro electromagnético que emplean

La radiación electromagnética comprende una amplia variedad de longitudes de onda que abarcan desde los rayos gamma a las ondas de radio. Todas estas emisiones constituyen el denominado espectro electromagnético (Vivancos et al., 2005).

Desde el punto de vista de la teledetección, conviene destacar una serie de bandas espectrales, que son las más frecuentemente empleadas: espectro visible, infrarrojo próximo, infrarrojo medio, infrarrojo lejano, microondas (Chuvieco, 1990).

Como se puede apreciar en la (Figura 2), los sensores multiespectrales utilizan las longitudes de onda entre el visible y el infrarrojo lejano. Por otro lado los sensores radar utilizan la región microondas del espectro.

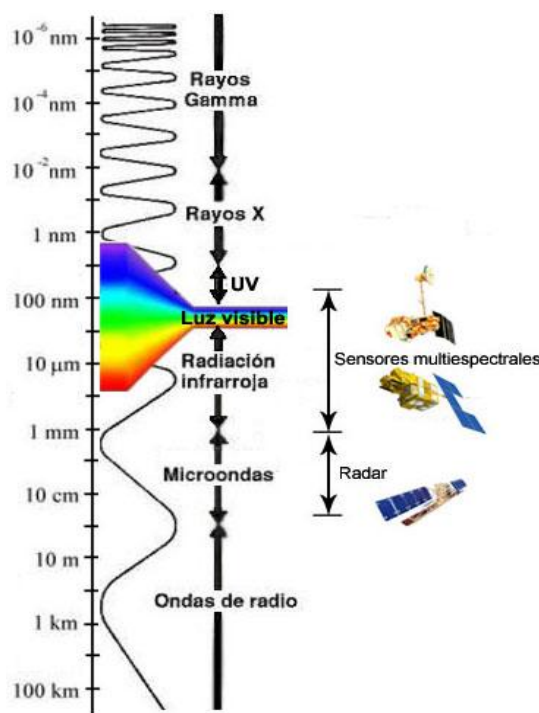


Figura 2. Representación del espectro electromagnético y de las radiaciones utilizadas en teledetección.

Fuente: Vivancos et al., 2005.

C) Sensores activos y pasivos.

Se pueden distinguir dos tipos de sensores en función del origen de la radiación que llega a la superficie:

Sensores pasivos: se limitan a recoger la energía electro-magnética procedente de las cubiertas terrestres, ya sea la reflejada de los rayos solares o bien la emitida en virtud de su propia temperatura.

Sensores activos: estos sensores tienen la capacidad de emitir un haz energético que, posteriormente, recogen tras su reflexión sobre la superficie que se pretende observar. Entre ellos el sistema más conocido es el radar.

D) Tipo de órbita

Los satélites de observación de la Tierra describen dos tipos de órbitas: **geoestacionarias** y **heliosíncronas**.

Los satélites geoestacionarios (Figura 3) observan permanentemente la misma porción de la superficie terrestre, esto es debido a que sus órbitas están situadas a gran altitud (36.000 km). De este modo su periodo orbital es similar a la velocidad de rotación de la Tierra y su posición relativa respecto al planeta es siempre la misma. El satélite Meteosat describe este tipo de órbita.

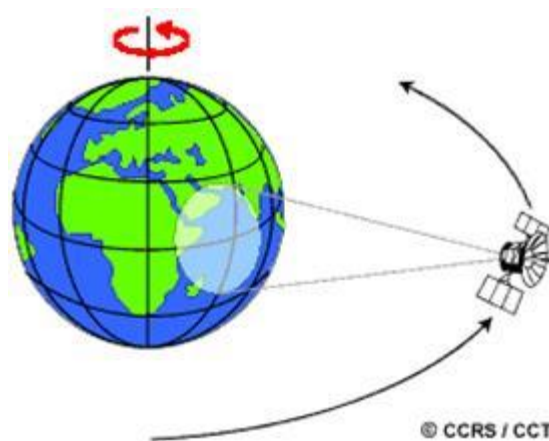


Figura 3. Órbita Geoestacionaria. Fuente : www.serviirnet

Los heliosíncronos o polares (Figura 4), están inclinados 90° respecto al plano del Ecuador. La órbita de este tipo de satélites es quasi-perpendicular al movimiento de rotación de la tierra, por lo que les permiten observar distintas zonas del planeta en cada pasada. Suelen orbitar a altitudes comprendidas entre 600 y 900 km. Esta órbita es la más habitual en los satélites de recursos naturales de media y alta resolución. El sensor ASTER describe una órbita polar.



Figura 4. Órbita polar.
Fuente: www.serviirnet

2.6.3.2 Características de resolución

La resolución de un sensor se puede definir como su habilidad para registrar, discriminándola, una información de detalle (Chuvieco, 1990), es decir, la capacidad de discernir objetos o detalles de un determinado tamaño en las imágenes captadas (Vivancos et al., 2005).

En síntesis, el concepto de resolución implica cuatro manifestaciones: espacial, espectral, radiométrica y temporal (Martínez J. et al., 2010).

A) Resolución espacial

Este concepto designa el tamaño del objeto más pequeño que puede ser distinguido sobre una imagen. Está determinada por el tamaño del píxel, medido en metros sobre el terreno, esto depende de la altura del sensor con respecto a la tierra, el ángulo de visión, la velocidad de escaneado y las características ópticas del sensor.

B) Resolución espectral

Indica el número y anchura de bandas espectrales que puede discriminar el sensor. Es decir, un sensor tendrá mayor resolución espectral cuantas más bandas espectrales tenga y menor sea la anchura de estas.

Por ejemplo el satélite SPOT tiene una resolución espectral de 3 bandas, Landsat de 7 y ASTER de 14, pudiendo además estos satélites registrar el comportamiento de los objetos en distintas bandas del espectro.

En cambio, los sensores radar de configuración simple (con un solo canal) y los sistemas fotográficos (que pueden ofrecer películas pancromáticas, infrarrojo y color natural), son los que menor resolución espectral tienen.

C) Resolución radiométrica

Esta resolución indica la sensibilidad del sensor, esto es, su capacidad para detectar variaciones en la cantidad de energía espectral que recibe en cada píxel. Se suele dar en unidades de número de bits. Un sensor que trabaja en 8 bits es capaz de detectar 2^8 (256) niveles distintos de energía.

D) Resolución temporal

Se refiere a la periodicidad con la que el sensor adquiere imágenes de la misma porción de la superficie terrestre.

Es necesario recordar que cuanto mayor sea la precisión de estos cuatro tipos de resolución, mejor podrán interpretarse las imágenes obtenidas por ellos. Sin embargo, debido a limitaciones de tipo computacional la mejora de un tipo de resolución (por ejemplo espacial) suele implicar un empeoramiento de otra (por ejemplo espectral).

2.6.4 Procesamiento digital de las imágenes

El objetivo fundamental del proceso digital de imágenes es el de corregir distorsiones, así como resaltar elementos que son difíciles o imposibles de distinguir directamente en una imagen.

En este procesamiento se suelen utilizar varias bandas espectrales de un mismo satélite, esto es lo que haremos en nuestro caso. Pero también se puede trabajar en modo multisensor o multibandas, lo que implicará tener para una misma zona un mayor número de bandas y datos recibidos de diferentes satélites.

Para poder procesar estas imágenes digitales se requiere de un software especializado, en nuestro caso utilizamos el IDRISI, cuyas funciones básicas de procesamiento son los siguientes:

- Efectuar las correcciones necesarias debidas a fallos del sensor, movimiento del satélite y el mecanismo de captación, interferencias debidas a la atmósfera, etc.
- Efectuar composiciones de color RGB, entre diferentes imágenes monocromas.
- Operar con las imágenes, lo que posibilita poder realizar transformaciones en las mismas.
- Generar datos estadísticos.

En el apartado de metodología se describen en detalle el procesamiento realizado a las imágenes ASTER utilizadas en nuestro estudio.

2.6.5 Aplicaciones de la teledetección

Existe un desconocimiento generalizado por parte de la población de qué son y para qué pueden servir las imágenes de nuestro planeta obtenidas por los diferentes tipos de satélites espaciales existentes en la actualidad. A pesar de la difusión por la televisión y la prensa de las imágenes del satélite meteorológico METEOSAT, la mayor parte de la población no tiene noticias de su existencia.

La teledetección es una herramienta útil tanto en áreas urbanas como en el ámbito medio ambiental. En las siguientes líneas citaremos algunos de sus usos más habituales en aplicaciones relacionadas con la agricultura y medioambiente.

- Obtención de mapas de cultivos, control de ayudas de la PAC (*Política Agraria Común*).
- Obtención de cartografía temática de usos del suelo.
- Identificación de zonas incendiadas.
- Seguimiento del ritmo de regeneración o degradación de determinadas zonas.
- Evolución y movimiento de las masas de hielo polar.

- Inventario del agua superficial, zonas inundadas, profundidad, corrientes.
- Predicción de rendimientos de cultivos.
- Detección de condiciones de estrés en cobertura vegetal, ya sea por plagas, o por estrés hídrico.
- Estudios de la humedad del suelo.

Como se puede observar las aplicaciones de la teledetección son diversas, aunque su uso no está tan extendido en los trabajos técnicos y proyectos de muchos profesionales (Junta de Andalucía, 2010).

2.6.5.1 Aplicaciones realizadas

Estas son algunas aplicaciones relacionadas con la gestión y el estudio de los pastos, que se han realizado a lo largo de los últimos años mediante el uso de la teledetección (Schellberg et al., 2008).

- Estudio sobre la densidad y estructura de la vegetación, altura de la cobertura vegetal y medida de la biomasa.

Obtener diferentes datos de verdor, espesor y uniformidad de la cubierta, fusionando bandas del Landsat TM y datos de multi-frecuencia SAR.

Determinar la anchura, densidad y altura de la cubierta arbustiva, utilizando imágenes de ángulos múltiples.

- Determinar el tipo de vegetación existente en una zona.

Utilizando imágenes multiespectrales y basándose en estimaciones realizadas en el laboratorio.

- Delimitar las cubiertas de pasto.

Utilizando AVHRR NDVI e imágenes Landsat TM, diseñar un mapa donde se delimitaban las cubiertas o zonas de pasto del este de Australia.

- Determinar la fracción de cubierta de una zona

Mediante la combinación de imágenes del satélite MODIS y Landsat TM, establecer las fracciones globales en una zona: zonas arbóreas, pastizales y suelo desnudo.

- Realizar estudios sobre algunas especies de plantas invasoras.

Estudios (Raymond E. et al., 2003) que guardan una cierto paralelismo con nuestro trabajo sobre *B. pinnatum*.

-Puesta en marcha de una investigación piloto (Richardson et al. 1981), para evaluar la eficacia de las imágenes multiespectrales de Landsat TM en detectar el grado de invasión de la planta nociva *Helianthus agrophyllus* en Texas (USA).

Confirmar que esta especie de planta nociva se podía distinguir en determinadas bandas (2,3,4) de las imágenes Landsat. Para ello compararon las zonas que estaban infestadas por la planta, con otras zonas delimitadas con fotos aéreas de la zona. Vieron que las zonas de presencia de esta planta tenían una respuesta similar en esas bandas.

-Realización de otras investigaciones en Texas sobre plantas nocivas de *Ericameria austrotexana*. En 1990, (Anderson et al., 1993) demostraron que, mediante el uso del satélite francés SPOT, se podían detectar grandes áreas de plantas nocivas e incluso realizaron mapas de las zonas infestadas

Estos estudios que refuerzan la idea de que una correcta interpretación de las imágenes digitales, puede ser una herramienta muy útil para investigar el comportamiento de las plantas invasoras.

OBJETIVOS

3. OBJETIVOS

El principal objetivo del presente trabajo es estudiar una técnica que empleando imágenes de satélite permita detectar la presencia de la especie *B. pinnatum* y eventualmente cuantificar su extensión a gran escala. Esto posibilitaría evaluar el grado de afectación de amplias zonas en cuanto a la presencia de esta especie invasiva, e incluso permitiría realizar un seguimiento del proceso invasivo de la especie o de la efectividad de las eventuales medidas de control que se apliquen.

De modo más detallado cabe mencionar los siguientes objetivos específicos:

- Establecer un protocolo de pre-procesado para imágenes ASTER adquiridas en zonas montañosas, especialmente en lo que respecta a la corrección topográfica.
- Caracterizar la respuesta de la especie *B. pinnatum* en las diferentes bandas espectrales adquiridas por el sensor ASTER.
- Comparar la respuesta de *B. pinnatum* con las de los principales tipos de cubiertas vegetales (herbáceas, arbustivas y arbóreas) presentes en Aezkoa.
- Calcular la diferencia normalizada entre *B. pinnatum* y el resto de cubiertas y cuantificar mediante este estadístico la capacidad de las diferentes bandas de discriminar la especie.

Cabe destacar el carácter novedoso de los objetivos planteados y del trabajo en general. En la bibliografía existen pocos estudios de este tipo y ninguno (a conocimiento de quien suscribe) dedicado a la especie *B. pinnatum*. Por otro lado, la extensión de la cubierta vegetal de la especie *B. pinnatum* en Aezkoa no está cuantificada y el desarrollo de la técnica que se plantea aquí podría proporcionar una herramienta de gran utilidad para este fin.

MATERIALES y MÉTODOS

4. MATERIALES y MÉTODOS

4.1. Materiales

4.1.1 Área de estudio

La zona geográfica donde se ha realizado el estudio comprende el Monte Aezkoa, situado en el cuadrante nordeste de Navarra (Comarca Agraria II: Pirineos) en la zona norte del valle que lleva el mismo nombre. Esta región pirenaica (Figura 5) limita con Francia por el norte y tiene una superficie total de aproximadamente 20.300 ha. Las coordenadas geográficas que delimitan la zona son las siguientes: 43,055°N Latitud máxima, 42,898°N Latitud mínima, 1,303°W Longitud máxima y 1,141°W Longitud mínima.

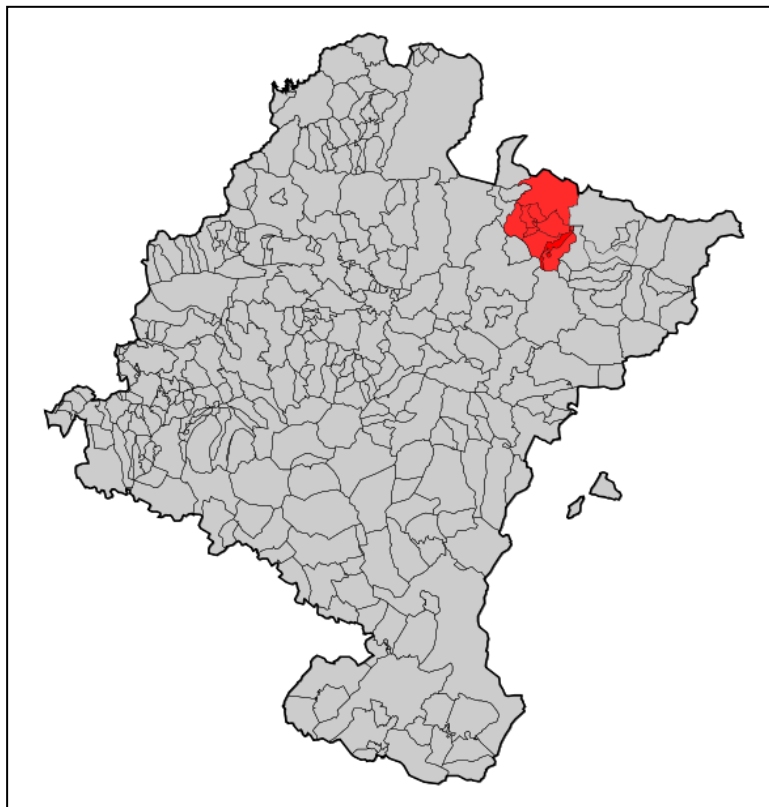


Figura 5. Ubicación del Valle de Aezkoa.

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Valle_de_Aezkoa

Atendiendo a la orografía, en el Monte Aezkoa se pueden diferenciar a grandes rasgos tres sectores o zonas.

- En la parte más **septentrional** destaca la alineación montañosa que discurre desde su extremo nororiental y en dirección SE-NW, desde el

monte Mendigar (1.319m), por los altos de Escanda (1.200m), Ozalo (1.123m), Sayarre (1.118m) hasta acabar en el collado de Iropil (987m). Al oeste de este cordal, se eleva el macizo de Urkulu (1.420m) y al sur el monte Mendilaz (1.337m) y los altos de Azalegui (1.164m). Estas alineaciones montañosas quedan separadas por depresiones de diversa entidad, entre las que destaca los llanos de Sobar-Ursario, Azpegui y los de Orion, todas ellas en altitudes comprendidas entre 900-1.000m. A excepción de estas llanadas, en la mayor parte de este sector el terreno es abrupto con pendientes que en ocasiones llegan a ser muy fuertes, presentando ciertas limitaciones para el pastoreo, sobre todo para el ganado mayor. La exposición predominante es hacia el norte, salvo en las laderas que descienden hasta los mencionados llanos, donde las orientaciones al sur también son frecuentes.

- La parte **central** del Monte es la zona situada entre el pantano de Irabia y la muga con Roncesvalles y Burguete. En este sector se localizan los pastos de Nabala y Sariozar. En general se trata de dos zonas de suave relieve, de menor altitud que el sector septentrional y el más meridional del Monte Aezkoa, la orientación predominante es hacia el sur y las pendientes van de suaves a moderadas. Las cotas de mayor altitud se encuentran en Urquiarreta (990m) y en las estribaciones de Latxaga (1.175m), parajes situados en Sariozar y Nabala respectivamente.
- El río Irati constituye el límite norte del sector más **meridional** del Monte. En esta zona se localizan los pastos ubicados en la Sierra de Abodi, cordal montañoso que se extiende en dirección W-E desde Berrendi hasta las estribaciones del Orhi, en el vecino valle de Salazar. La cota máxima se alcanza en el alto de Berrendi (1.407m). Las pendientes son suaves a moderadas y las exposiciones dominantes norte, sureste y suroeste.

El río principal que atraviesa el valle es el Iratí, que a su vez recibe el agua de varios afluentes: Zorrata, Aztapar, Arrazola, Itolatz, Txangoa y Legartza. Por el sur, el río Zatoia y por el noroeste el río Egurgio que desagua en el pantano de Irabia. A pesar de la abundancia de ríos y regatas, el total del agua superficial constituye un 26% del agua total, ya que el otro 73% se encuentra en cavidades subterráneas, como puede ser el acuífero de Urkulu-Mendilatz.

Su especial situación geográfica hace que el clima del Monte Aezkoa sea un clima de transición entre el clima atlántico que predomina en su parte noroeste, y el clima continental frío que se deja notar en el extremo oriental. El cordal montañoso localizado en la parte septentrional del monte, ejerce un

efecto barrera a los vientos y borrascas procedentes del atlántico que poco a poco van perdiendo fuerza y capacidad hídrica. Esto da lugar a un gradiente climático que se manifiesta en sentido NW-SE y a un contraste según la orientación y altitud del terreno. La precipitación media anual es de 1839mm (Irabia GN, 822m) y la temperatura media anual oscila entre 9,1°C y 10,3°C.

El paisaje vegetal de Monte Aezkoa está determinado por su sustrato, su clima húmedo que ocasiona áreas con suelos lavados y pH ácido, su posición biogeográfica ubicada entre la influencia cántabro-atlántica y pirenaica y el aprovechamiento ganadero (Imagen 8) que ha ido modelando el paisaje y las comunidades vegetales en él inmersas.



Imagen 8. Rebaño de vacas pastando en la zona de Puertos Grandes.

Si bien las especies forestales arboladas, principalmente hayedos, ocupan la mayor parte del monte. Sus etapas de sustitución (matorrales, helechales y pastizales) se distribuyen fundamentalmente en las cuatro grandes zonas de pastos. Dentro de estas zonas y desde un punto de vista también de la vegetación, la combinación de los factores mencionados anteriormente, permite diferenciar dos grandes unidades de pastos que presentan ciertos matices que las diferencian. En principio, podemos denominarlas como puertos altos (Puertos grandes y Abodi) y puertos bajos (Sariozar y Nabala).

En los **puertos altos** son dominantes los pastos arbustivos de bajo nivel evolutivo. Se trata de argomales-brezales dominados por *Ulex gallii* y diversas ericáceas (*Vaccinio myrtilli-Ulicetum gallii*). Son matorrales que presentan cierta variabilidad tanto en estructura como en composición florística. Es de destacar por singularidad en el territorio, los argomales ubicados en las laderas

septentrionales de Mendilaz ya que se ubican y desarrollan sobre sustratos muy ácidos.

Formando mosaico con los argomales y en ocasiones asociados a ellos, son también abundantes los pastos mesofíticos acidófilos (*Jasiono laevis-Danthonietum decumbentis* y *Carici piluliferae-Agrostietum curstisi*). Se trata de pastos densos, de corta talla, dominados por gramíneas vivaces cespitosas o amacolladas exigentes en humedad que se localizan sobre suelos profundos ácidos, bien sea por el sustrato silíceo en el que se desarrollan o bien por procesos de lixiviación.

Cabe destacar también en estos puertos los pastos que se desarrollan en las zonas con suelos de tendencia basófila y carácter mesoxerofítico (*Seseli cantabrici-Brachypodietum rupestris*). En este caso, se tratan de comunidades herbáceas formadas por gramíneas vivaces bastas entre las que domina el lastón o alka (*Brachypodium rupestre*). En estas mismas situaciones pero circunscritos únicamente a Abodi y ocupando escasa extensión se diferencian matorrales dominados por el boj (*Buxus sempervirens*), que tienen el carácter de arbustados permanentes. En las zonas cumbreiras utilizadas como reposaderos y venteaderos por el ganado, se instalan pastos en los que, debido al incremento de la fertilidad del suelo producido por la acumulación de deyecciones, son dominantes taxones de carácter nitrófilo y ruderal. Son los majadales del *Plantaginietalia majoris*.

En las áreas basales de las laderas de estos puertos, en zonas de suelos profundos, sobre todo en Puertos Grandes, es frecuente que las comunidades mencionadas anteriormente, tanto herbáceas pero sobre todo arbustivas, adquieran una fisonomía helechal, ya que la abundancia de helechos es notoria.

Los **puertos bajos** (Nabala y Sariozar) presentan características vegetales semejantes entre ellos, pero diferentes a las de los puertos altos. Las características fisiográficas y edáficas, los matices climáticos, pero sobre todo el manejo al que han sido y son sometidos, hacen que se desarrollen otras comunidades vegetales de escasa presencia en los puertos altos.

Se trata de zonas en las que se incluyen áreas intervenidas (roturación, abonados, encalados y siembras) desde hace aproximadamente 10 años. Son praderas en las que el uso diferencial hace que tanto la composición florística como el estado de ésta sea muy variable.

En las áreas menos o nada intervenidas se pueden observar matorrales de sustitución, tanto de alto nivel evolutivo como de bajo nivel serial. Entre los primeros destacan los espinares y zarzales (*Pruno-Rubion ulmifolii*) y puntualmente enebrales de *Juniperus communis*, comunidades que constituyen el manto o primeras etapas de sustitución de los hayedos. Entre los segundos destacan los piornales de retama negra (*Cystisus scoparius*) que desde un

punto de vista fitosociológico quedan adscritos a *Prunuellos-Sarothamnetum*, los argomales-brezales.

Al igual que en los puertos altos, en los lugares utilizados como reposaderos y venteaderos se instalan pastos nitrófilos del *Plantaginietalia majoris*. En los puertos bajos también es frecuente la presencia de densos helechales, fitocenosis muy variables tanto desde el punto de vista estructural como de su composición florística.

La siguiente tabla (Tabla 1), muestra las extensiones de cubiertas de las especies presentes en Monte Aezkoa.

Tipo de cubierta	Puertos altos		Puertos bajos		Total
	Puertos Grandes	Abodi	Nabala	Sariozar	
Arbórea	58,2	57,3	198,2	130,7	444,4
Arbustos	500,2	38,8	79,5	38,2	656,7
Herbácea	791,4	146,1	117,7	63,5	1118,7
Helechal	248,0	7,0	22,6	77,9	355,5
Improductivo	33,8	6,4	-	0,8	41,0
Total	1631,6	255,6	418,0	311,1	2616,3

Tabla 1. Superficies en hectáreas de los tipos de cubiertas presentes en las diferentes unidades de pasto de Monte Aezkoa.

4.1.2 Imágenes y cartografía de referencia

A) Imágenes ASTER

La elección de imágenes ASTER para realizar nuestro estudio, se basa en el hecho de que el número de bandas espectrales que recoge este sensor es superior a otros como Landsat TM o SPOT (Figura 6). Es especialmente destacable el alto número de bandas en la región del infrarrojo que posee ASTER, que a priori pueden permitir una mayor capacidad de discriminación de cubiertas vegetales.

La resolución espacial de ASTER varía en función de la región del espectro de cada banda (Tabla 4). Se ha tomado como resolución espacial de trabajo 15 m, es decir, la más alta del sensor ASTER, de forma que se conserve la mayor cantidad de información posible. Las bandas que tenían una

resolución peor, como puede ser las bandas del infrarrojo de onda corta, fueron remuestreadas a 15 m mediante el comando del programa **Expand** de IDRISI.

Las bandas del infrarrojo térmico tienen una resolución de 90 m que se considera demasiado pobre para la aplicación en que se centra este estudio. Por otro lado, en esta región del espectro el procesamiento e interpretación de las imágenes es bastante diferente, dado que factores como la temperatura ambiente o la humedad del suelo influyen de forma más decisiva que las características de las propias cubiertas vegetales.

Fecha y condiciones de adquisición

En la siguiente tabla (Tabla 2) se recogen algunos datos sobre la imagen tratada. Se eligió esta fecha debido a que es una época donde *B. pinnatum* tiene un verdor que, in situ, lo diferencia claramente del resto de las pratenses de la zona.

Fecha	08/05/07
Hora	11:00:01
Elevación solar	61,12°
Acimut solar	148,83°

Tabla 2. Fecha y condiciones de adquisición.

Descripción del Sensor ASTER

ASTER (The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) es un esfuerzo cooperativo entre la NASA y el Ministerio de Comercio, Economía e industria de Japón METI. El sensor ASTER es uno de los cinco instrumentos que se lanzaron en diciembre de 1999 a bordo del satélite TERRA de la NASA.

El objetivo principal de la misión ASTER es mejorar el entendimiento de los procesos, a escala local y regional, que ocurren sobre o cerca de la superficie de la tierra y en la atmósfera inferior, incluyendo la interacción superficie-atmósfera.

- **Características del sensor ASTER**

En la siguiente tabla (Tabla 3) figuran las principales características del sensor ASTER.

Fecha de lanzamiento	18/12/99
Lugar de lanzamiento	Base de las fuerzas aéreas de Vandenberg, California. EEUU
Cruce línea Ecuatorial	10:30 AM (de Norte a Sur)
Órbita	Helio sincrónica, 705 km de altitud
Inclinación orbital	98,3° desde el Ecuador
Periodo orbital	98.88 minutos
Ciclo de repetición	16 días
Ancho de barrido	60 km
Nº bandas	14

Tabla 3. Características del sensor ASTER.

- **Características de las bandas**

En la tabla y figura del siguiente apartado, se puede hacer una comparación cuantitativa y cualitativa respectivamente de las bandas de ASTER respecto a las del sensor Landsat TM. Por un lado, se constata que Landsat TM tiene siete bandas y ASTER 14. Por otro lado, es especialmente destacable el mayor número de bandas que tiene ASTER en las regiones del infrarrojo de onda corta (SWIR) y del infrarrojo térmico (TIR).

Sensor	Subsistema	Banda No.	Rango Espectral μm (micrometro)	Resolución Especial	Resolución Radiométrica
TM	VNIR	1	0.45-0.52 μm	30 m	8 bits
		2	0.53-0.60 μm		
		3	0.63-0.69 μm		
		4	0.76-0.90 μm		
	SWIR	5	1.55-1.75 μm	30 m	8 bits
		7	2.08-2.35 μm		
ASTER	TIR	6	10.4-12.5 μm	120 m	8 bits
	VNIR	1	0.52 - 0.60 μm	15 m	8 bits
		2	0.63 - 0.69 μm		
		3N	0.78 - 0.86 μm		
		3B	0.78 - 0.86 μm		
	SWIR	4	1.600 - 1.700 μm	30 m	8 bits
		5	2.145 - 2.185 μm		
		6	2.185 - 2.225 μm		
		7	2.235 - 2.285 μm		
		8	2.295 - 2.365 μm		
		9	2.360 - 2.430 μm		
	TIR	10	8.125 - 8.475 μm	90 m	12 bits
		11	8.475 - 8.825 μm		
		12	8.925 - 9.275 μm		
		13	10.25 - 10.95 μm		
		14	10.95 - 11.65 μm		

Tabla 4. Comparación entre las características de las imágenes ASTER y Landsat TM.

Fuente: www.rs-geoimage.com.

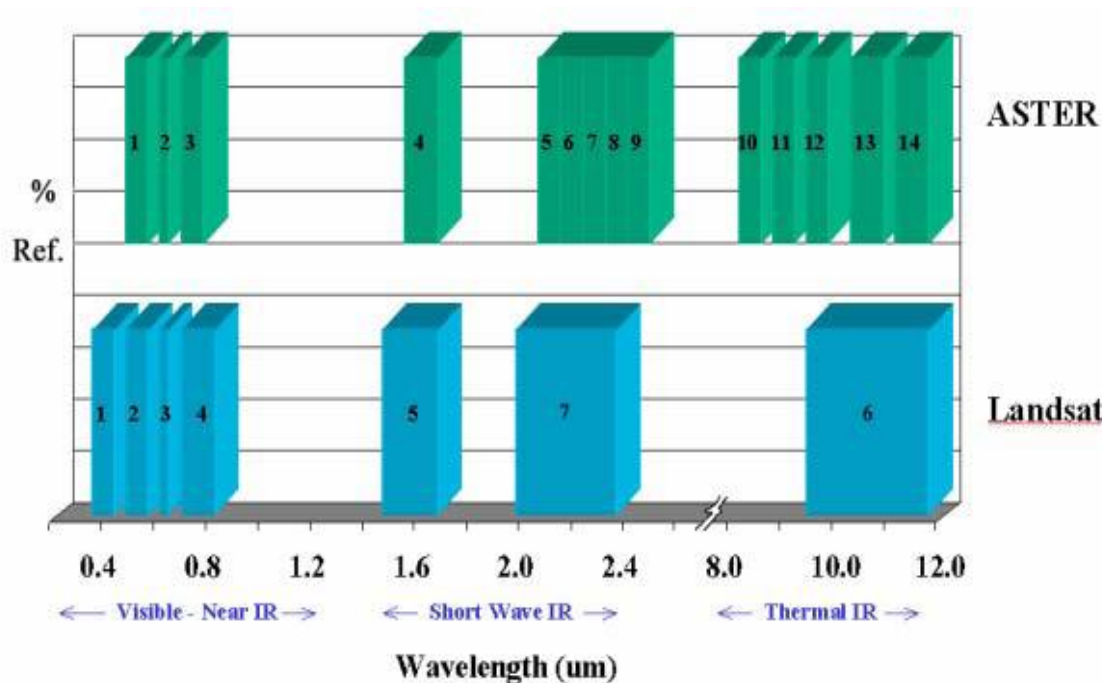


Figura 6. Comparación de bandas espectrales entre ASTER y Landsat 7 Thematic Mapper.

Fuente: Aster Users handbook

Los archivos vectoriales utilizados como referencia se elaboraron en el marco del plan de ordenación de los pastos de Aezkoa en 2008. Para ello se realizaron visitas de campo para identificar las zonas de las especies pratenses y se delimitaron sus contornos en la ortofotografía 1:5.000 del Gobierno de Navarra.

Para delimitar y digitalizar los recintos se empleó el programa Microstation v:8. Posteriormente estos contornos se transformaron en vectores GIS con sus respectivas bases de datos asociadas. En definitiva, cada capa vectorial lleva asociada una base de datos con los tipos de pasto que hay en cada polígono y con sus correspondientes porcentajes de cobertura. La escala de trabajo es 1:5.000.

Las siguientes imágenes, hacen referencia al mapa con las zonas de pasto delimitadas (Imagen 9) y a la leyenda de los diferentes tipos de especies existentes en la zona (Imagen 10).

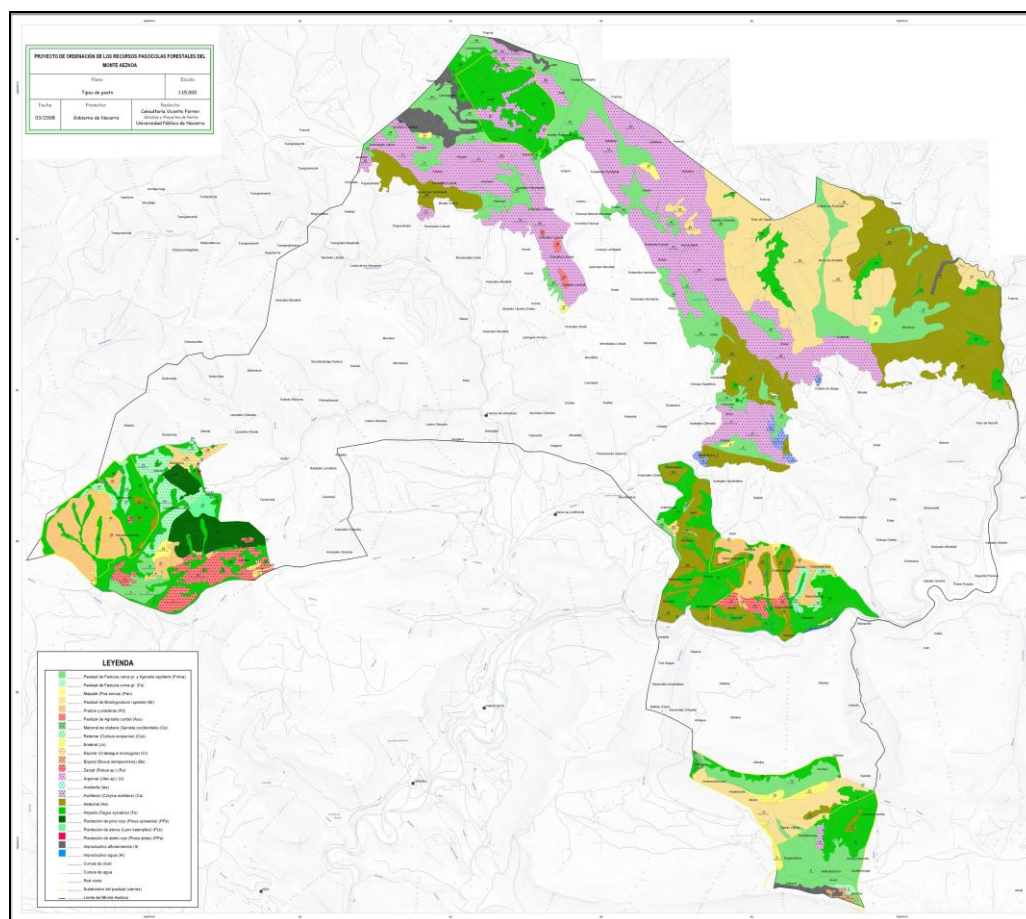


Imagen 9. Delimitación de las zonas de diferentes pastizales.

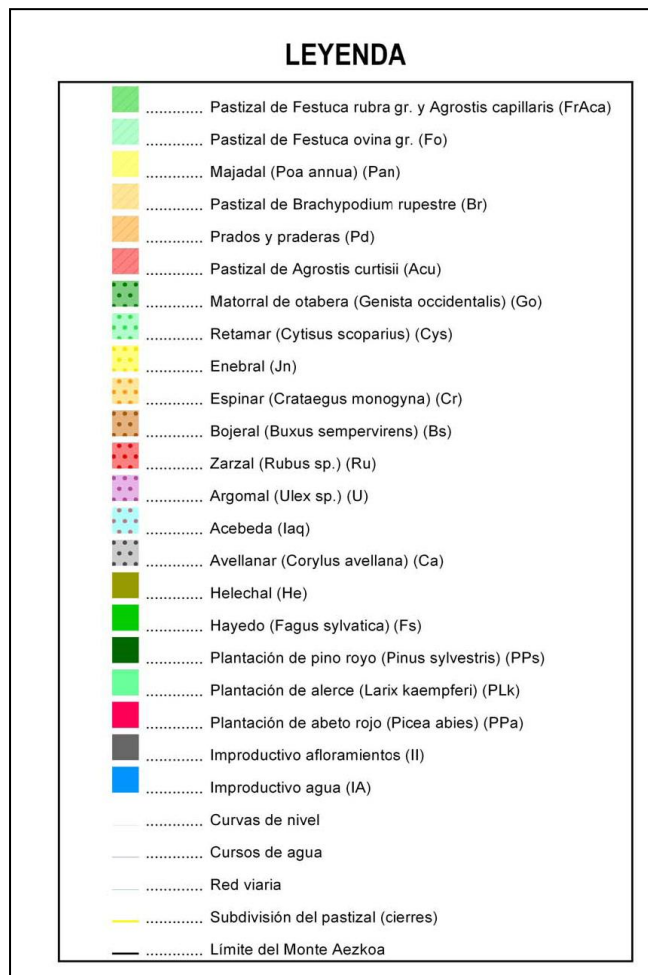


Imagen 10. Leyenda de las diferentes especies.

B) Visita a campo

El 28 de Julio de 2010 se realizó una salida a los montes de Aezkoa para poder visualizar las zonas afectadas por la invasión de *B. pinnatum*.

A esta salida junto con los tutores del TFC, Jesús Álvarez y Rosa María Canals, también acudió Vicente Ferrer, que debido a su trabajo era buen conocedor de la zona y de las especies pratenses presentes en la zona.

En esta visita se observaron *in situ* zonas donde el *B. pinnatum* dominaba la cubierta vegetal. Estas zonas se marcaron en una ortofotografía y como posteriormente se comentará, se sacaron las estadísticas de estas zonas.

4.1.3. Software empleado

Software IDRISI Taiga edition.

IDRISI es un programa SIG producido por Clark Labs. La organización fue fundada en 1987 como el proyecto IDRISI por el profesor Ron Eatsman. Es una institución de educación e investigación localizada en la Universidad de Clark en Worcester, Massachussets, USA (Heredia, 2007).

Se utilizó este software, por su contrastada fiabilidad y por sus características didácticas, ya que, incluye un tutorial con ejemplos explicativos de la utilidad de los diferentes comandos y órdenes de procesamiento.

4.2 Métodos

4.2.1. Pre-procesamiento de la imagen ASTER

En este apartado se explican todos aquellos procesos y tratamientos que se han aplicado a la imagen tal y como se recibe del distribuidor. El fin de estas modificaciones es corregir posibles distorsiones y deformaciones para contar con una información de partida fiable para este análisis y posteriores interpretaciones. A continuación se describen los pasos seguidos.

A) Corrección del Striping

El bandeo o “striping” se debe a una mala calibración de los detectores del sensor. Esto significa que alguno de los detectores del sensor codifica la radiancia con valores ND superiores o inferiores al de los demás detectores. Este efecto se refleja en la existencia de unas bandas más claras o más oscuras (Imagen 11) que se repiten periódicamente (Murillo, 2002). Mediante el uso de los siguientes comandos se logró su corrección (Imagen 12).

Image procesing ----> Restoration ----> **Destripe**

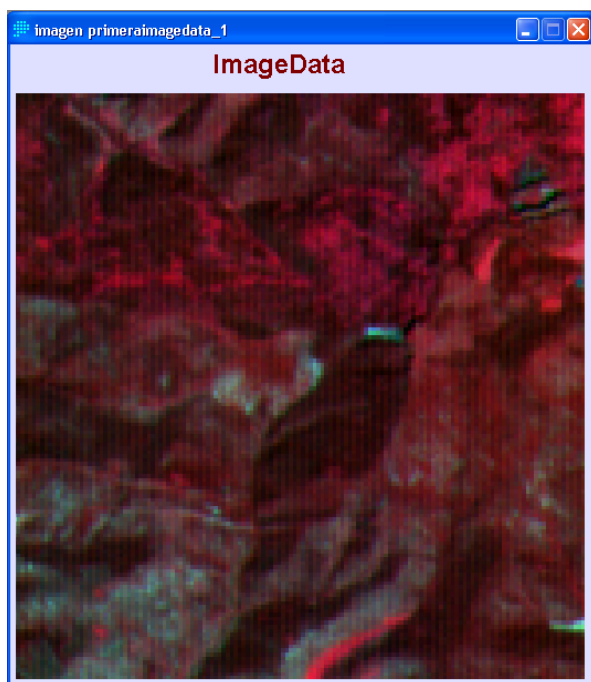


Imagen 11. Imagen sin corregir
(Composición falso color. Bandas 1,2,3)

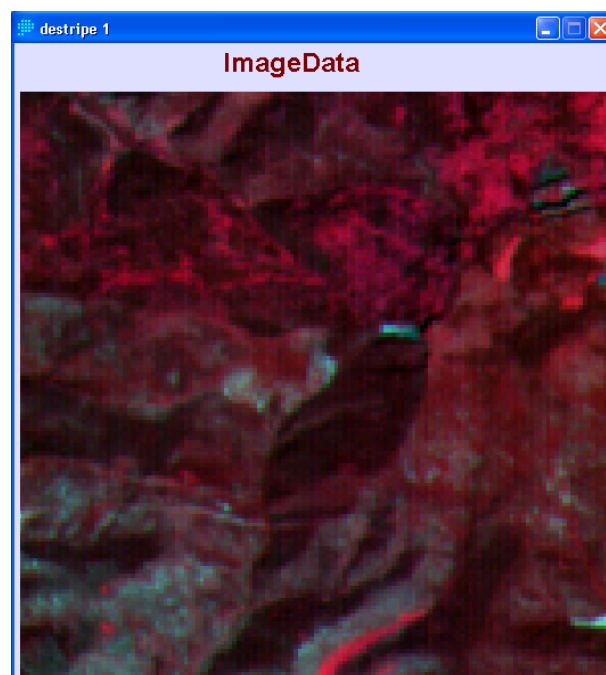


Imagen 12. Imagen corregida
(Composición falso color. Bandas 1,2,3)

B) Corrección geométrica

La corrección geométrica es el proceso de asignar coordenadas a las imágenes en un sistema cartográfico. Esto se realiza respecto a una imagen que ya está georreferenciada. Se trata de buscar una serie de puntos de control, es decir, buscar puntos comunes en las dos imágenes. (Murillo. 2002).

Sirve para dar sentido cartográfico a las imágenes y corregir sus distorsiones geométricas (Imagen 14) para poder superponerlas con otro tipo de información.

Para realizar la corrección se ha tomado como referencia una ortofotografía 1:5.000 de la zona previamente georreferenciada .

La proyección cartográfica utilizada fue *Universal Transversal Mercator* (UTM) y el sistema de referencia el ED-50.

La corrección se realizó mediante el método de los puntos de control, empleando el comando **Resample** de IDRISI. Se corrigió únicamente la zona de la imagen correspondiente a las inmediaciones del valle de Aezkoa. En esta zona se localizaron 30 puntos de control y se realizó un ajuste lineal. El remuestreo se realizó mediante el método del vecino más cercano.

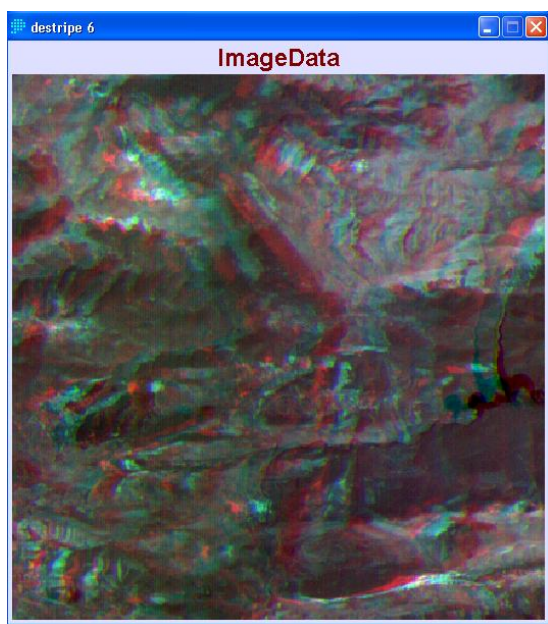


Imagen 13. Imagen sin corregir.
Composición a falso color (bandas 6,7,8)



Imagen 14. Imagen corregida.
Composición a falso color (bandas 6,7,8)

Como se puede observar en la Imagen 13, existe un desfase espacial entre las diferentes bandas de la imagen. Por tanto, fue necesario realizar una corrección espacial independiente para cada banda, reubicando los puntos de control para cada una de ellas. En todos los casos, el error medio obtenido fue inferior a 1 pixel.

C) Corrección atmosférica

La energía radiada por la superficie terrestre debe recorrer una cierta distancia a través de la atmósfera antes de ser detectada por el sensor. Durante este viaje, el flujo radiante es dispersado y absorbido por los aerosoles atmosféricos y el vapor de agua, lo que modifica la radiancia que finalmente registran los detectores del sensor.

Para corregir esta distorsión se empleó el comando **ATMOSC** de IDRISI. El comando ATMOSC permite elegir diferentes modelos de corrección. En este estudio se utilizó el modelo Cos (t).

El modelo Cos (t), considera que la radiancia espectral descendente y la radiancia espectral difusa del cielo son 0,0. El coeficiente de transmisión atmosférica se calcula como el coseno del ángulo cenital solar (90-elevación solar) y el resplandor debido a la neblina se calcula especificando el ND(nº digital)=0, de objetos que deben tener un coeficiente de reflexión de cero (lagos y ríos).

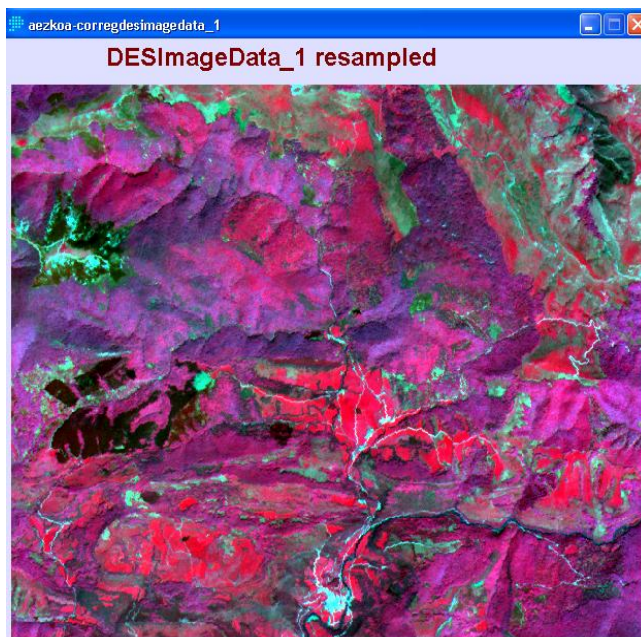


Imagen 15. Imagen sin corregir.
Composición en falso color (bandas 1,2,3)

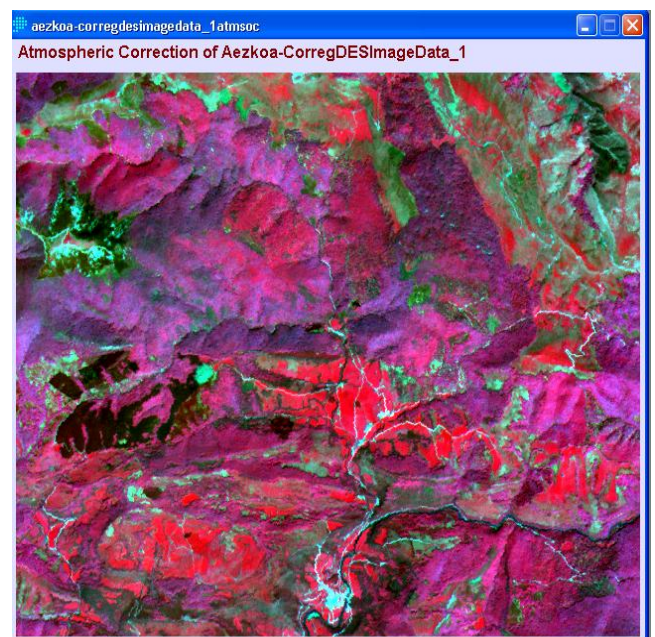


Imagen 16. Imagen corregida.
Composición en falso color (bandas 1,2,3)

D) Corrección topográfica

La corrección topográfica de imágenes multiespectrales hace referencia a las técnicas para compensar la diferente iluminación solar producida por el relieve del terreno. Este efecto hace que en zonas montañosas, cubiertas del terreno idénticas, den lugar a valores de reflectancia diferentes por su diferente orientación: las zonas sombrías producen una menor reflectancia que las zonas

de solana, por lo que, no se puede saber si los valores diferentes de reflectancia se deben a las sombras producidas por el relieve o por especies vegetales diferentes.

La aplicación de cualquier método de corrección topográfica requiere un Modelo Digital de Elevaciones (DEM) de la misma resolución que las imágenes a corregir.

-Modelo Digital de Elevaciones (MDE o DEM)

A partir del DEM es posible calcular las condiciones de iluminación de cada píxel de la imagen. Esto se realiza calculando el ángulo de iluminación solar (i) que depende del relieve del terreno (pendiente y orientación) y de la posición del sol en el lugar y momento de la adquisición de la imagen. Para ello se debe conocer con exactitud:

1. Los datos de la posición del sol, en el lugar y momento de la adquisición.

Elevación solar	61,12°
Acimut solar	148,83°

2. El relieve del terreno (pendiente y orientación), lo calculamos a partir del DEM utilizando los comandos **Slope** y **Aspect** respectivamente.

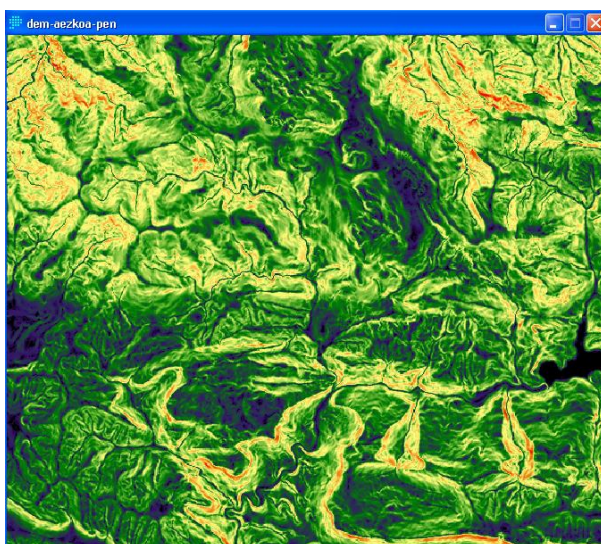


Imagen 17. Pendiente de la zona

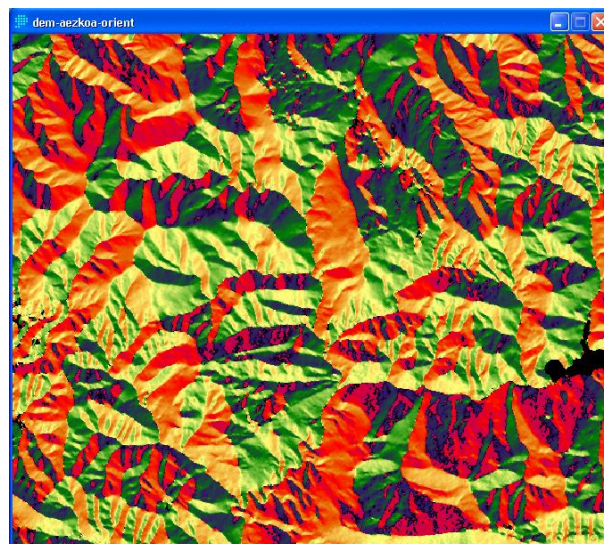


Imagen 18. Orientación de la zona

Una vez conocidos todos los datos de partida necesarios, hay que aplicar la siguiente fórmula:

$$\cos(i) = \cos(sz) \cdot \cos(slp) + \sin(sz) \cdot \sin(slp) \cdot \cos(saz - asp).$$

Donde (θ_z) es el ángulo cenital del sol, (θ_{slp}) es la pendiente del terreno, (θ_{az}) el ángulo acimutal del sol y (θ_{asp}) la orientación del terreno. El valor de $\cos(i)$ varía entre 0 (iluminación solar mínima) y 1 (iluminación máxima).

Para realizar la operación se utilizó el comando **Image Calculator**. Previamente, mediante el comando se ha adecuado el DEM a una resolución de 15x15, ya que el DEM de partida tenía una resolución de 30 m.

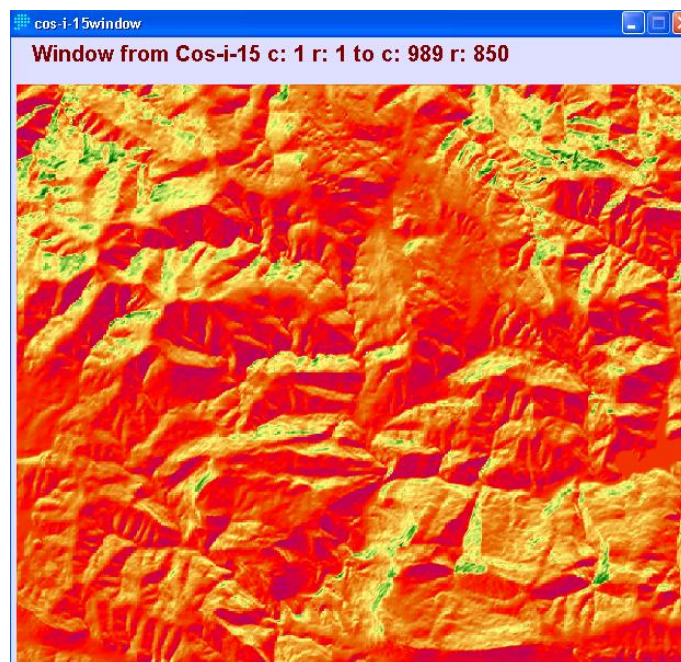


Imagen 19. Imagen $\cos(i)$

Una vez calculado el valor de $\cos(i)$, para toda la imagen se puede corregir el efecto de la topografía empleando diferentes métodos

-Métodos de corrección topográfica

Inicialmente se realizó la corrección topográfica con dos métodos diferentes: “Statistic-Empirical Correction” y “C. Correction Method”. Posteriormente se eligió la técnica más adecuada para nuestro caso.

En ambos métodos era necesario calcular la dependencia entre la radiancia de cada banda y el ángulo de iluminación $\cos(i)$, ya que se necesitaban los valores de la pendiente y ordenada en el origen de la relación entre ambos. Por ello, se ajustó una recta de regresión de tipo lineal, la variable independiente era $\cos(i)$ y la variable dependiente cada banda (Figura 7), utilizando el comando **Regress**.

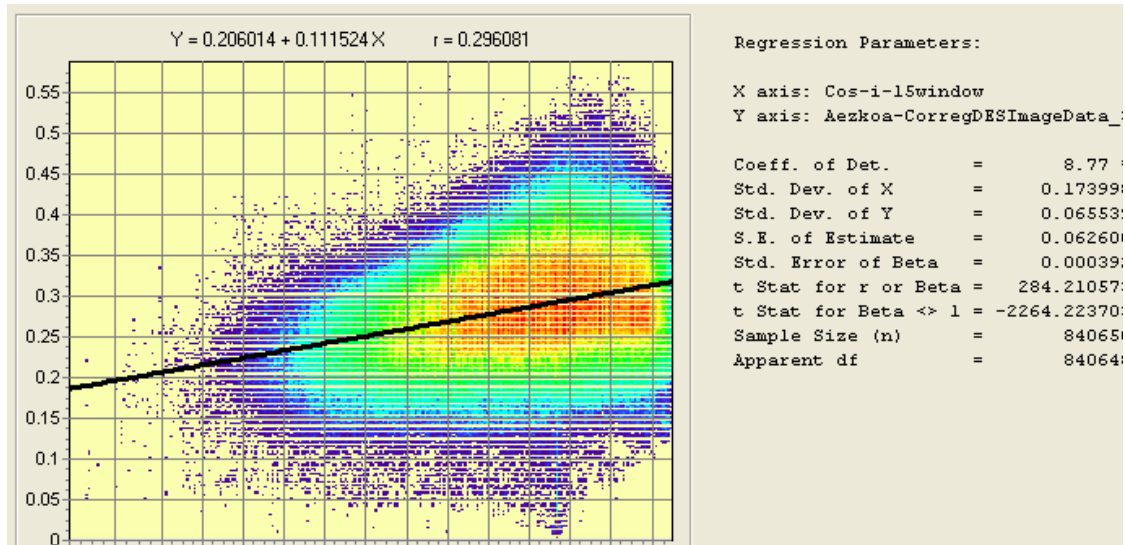


Figura 7. Regresión lineal entre la radiancia de la banda 3 y el ángulo de iluminación.

Class width = 0.00587
Display minimum = 0.000
Display maximum = 0.587
Actual minimum = 0.000
Actual maximum = 0.587
Mean = 0.285
Stand. Deviation = 0.066
N = 840650

Tabla 5. Datos estadísticos de la regresión.

A) El método “Statistic-Empirical Correction” o método empírico.

Este método permite corregir el efecto de la topografía de forma empírica. Para ello, como se ha comentado anteriormente, es necesario ver la dependencia entre la radiancia de cada banda y el ángulo de iluminación $\cos(i)$.

Es una regresión de tipo lineal:

$L_{\lambda} = A \cos(i) + B$, donde L_{λ} es la radiancia de la banda λ , (i) el ángulo de iluminación y A y B son la pendiente y ordenada en el origen de la recta de regresión.

Si la regresión tiene un coeficiente de correlación alto significa que el efecto de la topografía en la radiancia de esa banda es significativo. Por lo que, para eliminar esta dependencia se aplica la siguiente ecuación:

$L_{cor,\lambda} = L_{\lambda} - (A \cos(i) + B) + L_{\lambda}(MEDIA)$, donde $L_{cor,\lambda}$ es la radiancia corregida y $L_{\lambda}(MEDIA)$ es el valor medio de radiancia de la banda λ .

Este método aplica una rotación de la línea de regresión en torno a L_{λ} (MEDIA) que elimina la dependencia de la radiancia con el ángulo de iluminación.

Los resultados que proporciona este método son buenos, aunque en zonas heterogéneas con gran variedad de cubiertas el valor de L_{λ} (MEDIA) que se introduzca puede homogeneizar la respuesta de las mismas.

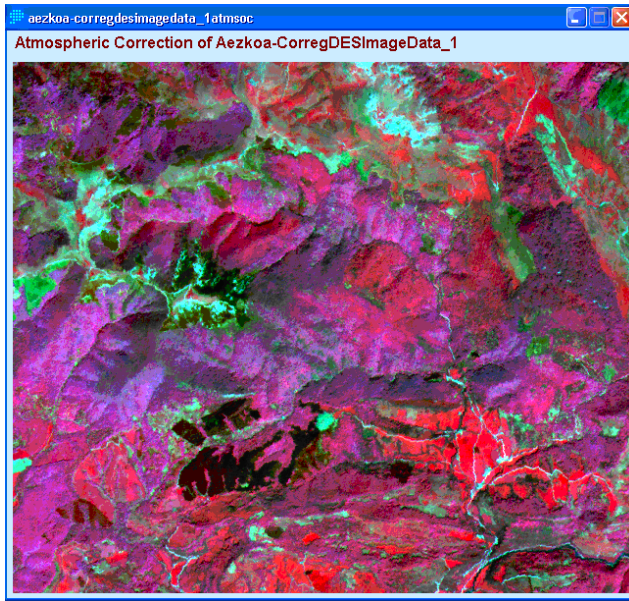


Imagen 20. Imagen sin corrección topográfica.
Composición en falso color (bandas 1,2,3)

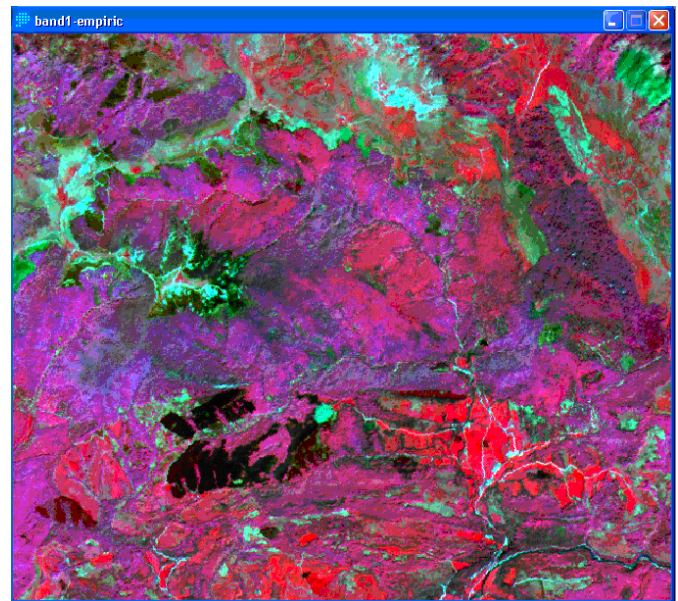


Imagen 21. Imagen corregida con metodo empírico.
Composición en falso color (bandas 1,2,3)

B) El método “C. Correction Method”.

Observaciones realizadas en terreno ondulado muestran una correlación lineal entre L_{λ} y $\cos(i)$. Para valores de $\cos(i)=0$ la ordenada en L suele tomar valores positivos. Basándose en esta relación lineal propusieron este método, que emplea un factor c empírico de corrección. Este método corrige la influencia de la topografía mediante la siguiente ecuación:

$L_{cor,\lambda} = L_{\lambda} * ((\cos(sz) + c) / (\cos(i) + c))$, donde (sz) es el ángulo cenital del sol, c es el coeficiente que se considera constante para cada banda y se obtiene a partir de la regresión entre L_{λ} y $\cos(i)$, siendo A y B la pendiente y ordenada en el origen de la regresión respectivamente:

$$L_{\lambda} = A \cos(i) + B$$

$$c = B/A$$

Mediante este método también se han obtenido buenos resultados, aunque en algunas ocasiones se ha apreciado también que este método sobre-corrige el efecto del relieve.

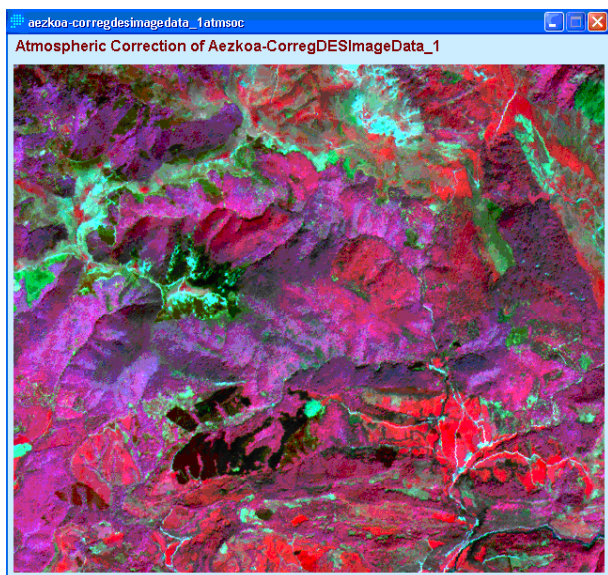


Imagen 22. Imagen sin corrección topográfica.
Composición en falso color (bandas 1,2,3)



Imagen 23. Imagen corregida con C.Correction Method.
Composición en falso color (bandas 1,2,3)

Una vez realizada la corrección topográfica mediante ambos métodos, se procedió a elegir el más adecuado para este estudio.

En teoría, la corrección topográfica no tenía por qué alterar las características espectrales o distribución de probabilidad de la radiancia recibida en cada banda. Por ello, se calcularon las medias y desviaciones de las imágenes corregidas y se compararon con las de la imagen antes de ser corregida (Tabla 6), datos estadísticos que obtuvimos mediante el comando **Extract**.

Banda	Original		Empírica		C. Correction	
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
1	0.017	0.010	0.017	0.009	0.019	0.011
2	0.025	0.012	0.025	0.012	0.029	0.013
3	0.285	0.066	0.285	0.063	0.304	0.067
4	0.173	0.033	0.173	0.030	0.187	0.032
5	0.084	0.018	0.084	0.017	0.089	0.018
6	0.083	0.021	0.083	0.020	0.089	0.021
7	0.077	0.018	0.077	0.017	0.082	0.018
8	0.052	0.014	0.052	0.013	0.057	0.014
9	0.031	0.010	0.031	0.009	0.033	0.010

Tabla 6. Datos estadísticos de las imágenes sin corregir y corregidas.

Analizados los datos obtenidos en la tabla 6, se observó cómo en las bandas del método “Statistic Empirical Correction”, las medias eran idénticas a las de las imágenes originales y la desviación estándar era algo menor en la mayoría de las bandas. En cambio, en las bandas corregidas mediante el método “C.Correccion Method”, las medias de las bandas eran mayores y la desviación estándar también. Se optó por el método “Statitistic-Empirical Correction”, ya que, este presentaba en sus resultados una mayor aproximación a los de las imágenes originales. Por otro lado, se comprobó que en ambos métodos la dependencia entre la radiancia de cada banda y el ángulo de iluminación solar desaparecían, lo que probaba que se había corregido adecuadamente la influencia de la topografía.

4.2.2 Extracción de la información cuantitativa de la imagen

En este apartado se ha calculado la información estadística necesaria para realizar este estudio.

A) Cálculo de parámetros estadísticos de las diferentes zonas

En primer lugar se abrieron los Data File de los archivos vectoriales, es decir, el archivo que contenía los datos de las diferentes especies existentes en la zona. Se copiaron estos datos a un Excel y se les asignó una nueva numeración mediante orden alfabético (Tabla 7).

Acebeda	1
Argomal (<i>Ulex sp.</i>)	2
Avellanar (<i>Corylus avellana</i>)	3
Bojeral (<i>Buxus sempervirens</i>)	4
Enebral	5
Espinar (<i>Crataegus monogyna</i>)	6
Hayedo (<i>Fagus sylvatica</i>)	7
Helechal	8
Improductivo afloramientos	9
Improductivo agua	10
Majadal (<i>Poa annua</i>)	11
Matorral de otabera (<i>Genista occidentalis</i>)	12
Pastizal de <i>Agrostis curtisii</i>	13
Pastizal de <i>Brachypodium rupestre</i>	14
Pastizal de <i>Festuca ovina</i> gr.	15
Pastizal de <i>Festuca rubra</i> gr. y <i>Agrostis capillaris</i>	16
Plantación de abeto rojo (<i>Picea abies</i>)	17
Plantación de alerce (<i>Larix kaempferi</i>)	18
Plantación de pino royo (<i>Pinus sylvestris</i>)	19
Prados y praderas	20
Retamar (<i>Cytisus scoparius</i>)	21
Zarzal (<i>Rubus sp.</i>)	22

Tabla 7. Nueva enumeración de las especies florísticas

Después de asignar nuevos valores a los pastos en el Excel, se procedió a asignar estos valores a los archivos vectoriales, utilizando el comando **Reclass** de IDRISI. Se realizó esta operación para los cuatro archivos vectoriales: Nabala, Puertos Grandes, Sariozar y Abodi.

Una vez completados los cuatro archivos vectoriales con la misma numeración de especies, se creó un nuevo archivo que contenía todos los archivos vectoriales (Imagen 24).

Esto se ejecutó mediante el comando **Image Calculator**. Esta operación consistió básicamente en sumar las cuatro imágenes y crear una nueva con todos los datos vectoriales de los que se disponía.

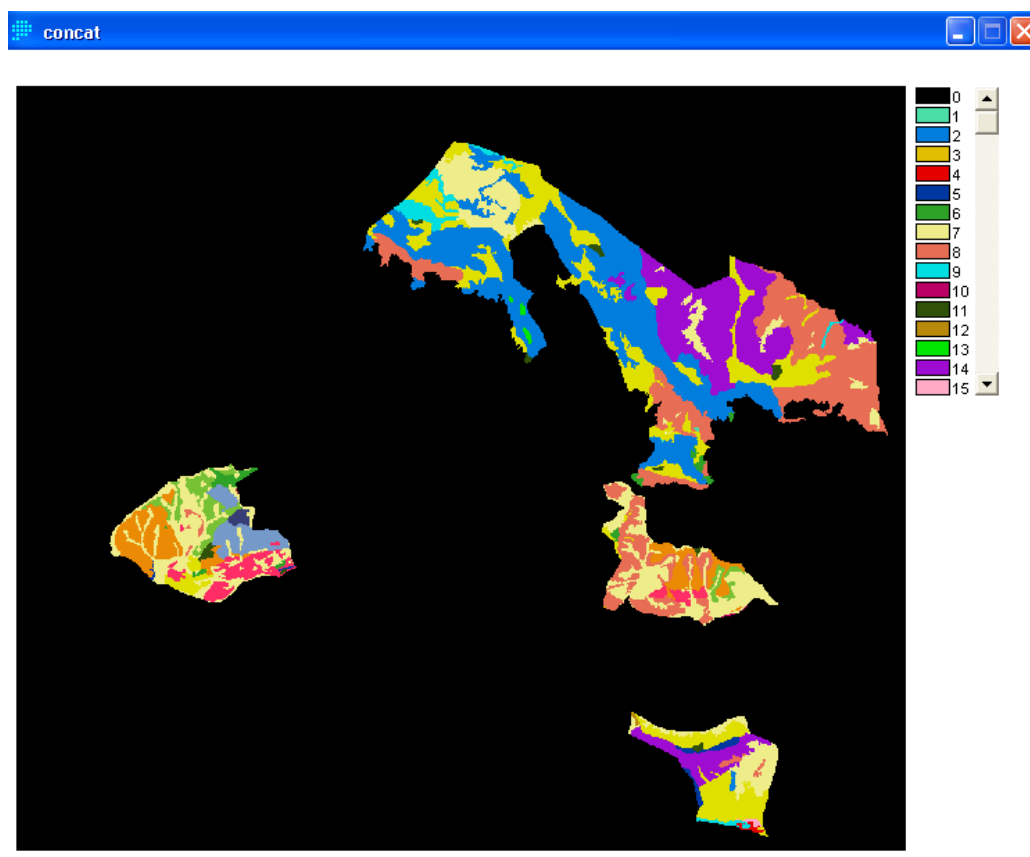


Imagen 24. Delimitación de las especies con la nueva asignación

En la tabla 7 se aprecia el número asignado a *B. pinnatum*, el 14, y en la imagen 24, las superficies de color morado indican sus zonas de expansión.

- **Cálculo de las estadísticas.**

Utilizando el comando **Extract**, se obtuvieron las estadísticas de las zonas delimitadas por la imagen 24, para cada banda empírica. La siguiente tabla (Tabla 8) muestra las estadísticas de las especies nº 1 y nº 2 en la banda 1. Como ya se ha comentado anteriormente, se obtuvieron las estadísticas de las 22 especies en todas las bandas.

Summary statistics from BAND1-EMPIRIC based on CONCAT

```

1
Minimum -0.002793
Maximum 0.022971
Total 0.125541
Average 0.004329
Range 0.025763
Population Std Dev 0.005243
Sample Std Dev 0.005336

2
Minimum -0.000814
Maximum 0.082559
Total 353.394590
Average 0.013991
Range 0.083373
Population Std Dev 0.006293
Sample Std Dev 0.006294

```

Tabla 8. Estadísticas de las especies 1 y 2 en la banda 1.

El dato estadístico que se utilizó en el estudio fue la media y la desviación estándar. Mientras que el primero representa la reflectividad media de todos los píxeles delimitados en la misma zona, el segundo hace referencia a la dispersión de los datos entre sí.

- **Cálculo de estadísticas de la zona concreta de *B. pinnatum*.**

En el apartado de visita a campo, se ha hecho referencia a unas estadísticas calculadas en ciertas zonas donde la cubierta de *B.pinnatum* era prácticamente del 100%. Se realizó este proceso para comprobar que los contornos identificados como *B.pinnatum* en los archivos vectoriales utilizados como referencia reflejaban realmente este tipo de cubierta. El procedimiento realizado fue el siguiente:

En primer lugar, mediante el comando **Digitize**, se delimitaron tres zonas (Imagen 25) en las cuales se había comprobado *in situ* que la cubierta de *B.pinnatum* era prácticamente del 100% y se completó un archivo vectorial.

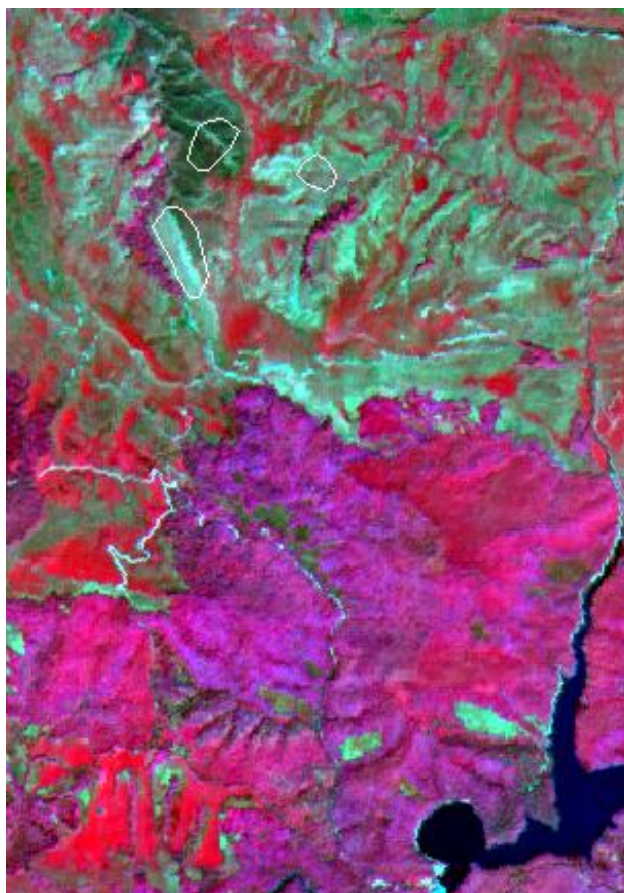


Imagen 25. Zonas de *B. pinnatum* delimitadas sobre imagen de falso color de las bandas 1,2,3. Delimitadas por un perímetro de color blanco.

Posteriormente, para el cálculo de estadísticas se realizó el mismo procedimiento que en el de las estadísticas generales. Mediante el comando **Extract** se calcularon las estadísticas de las zonas para cada banda. Conviene precisar que los datos estadísticos obtenidos para cada banda son la media de las tres zonas.

Finalmente, tras haber obtenido dos series de datos estadísticos para la especie *B. pinnatum*, se constató que los datos eran bastante similares. Esto se puede observar de forma visual en la signature espectral (Figura 8) del siguiente apartado.

B) Análisis de signatures espectrales de los diferentes tipos de pasto

Una vez obtenidos los datos estadísticos, el siguiente paso fue realizar las signatures espectrales de las especies, es decir, obtener la representación gráfica de la información estadística obtenida para cada banda.

La siguiente signature espectral (Figura 8) es la representación gráfica de las dos series de datos estadísticos obtenidos para *B. pinnatum*. La línea azul representa los datos estadísticos obtenidos de la información de los archivos

vectoriales de referencia y la rosa, los datos estadísticos de las tres zonas delimitadas donde se comprobó *in situ* la presencia de *B. pinnatum*.

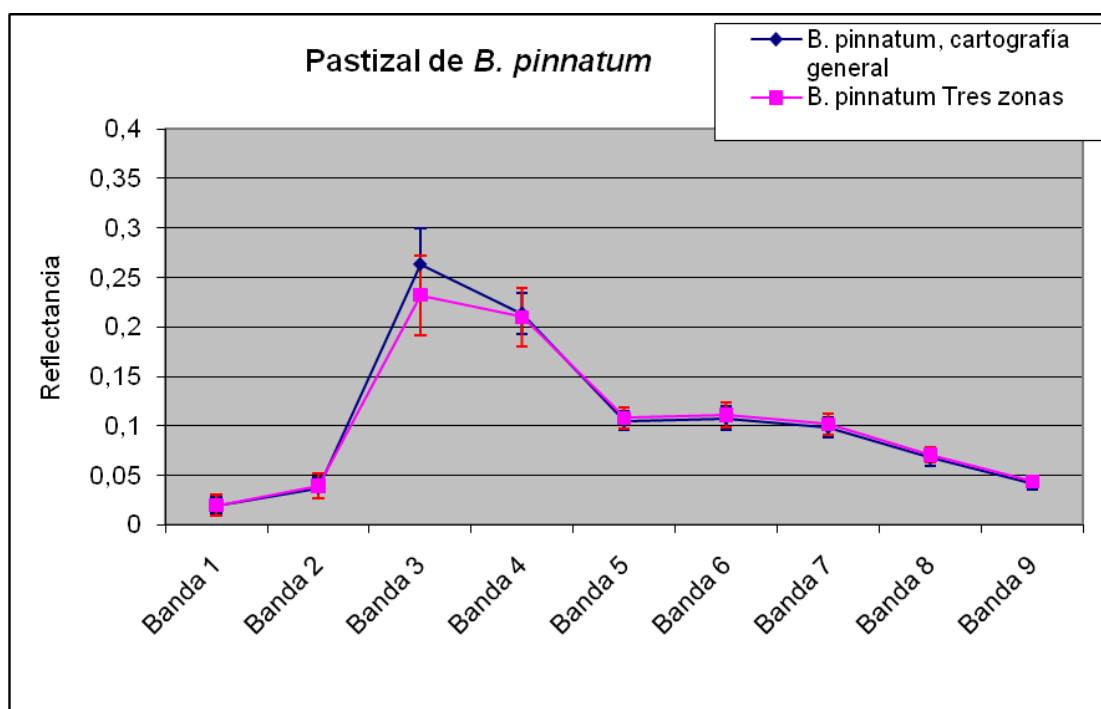


Figura 8. Signatura espectral de los datos de reflectividad de *B. pinnatum*.

Las firmas espectrales permiten realizar una interpretación cualitativa de la información obtenida para las diferentes cubiertas, esto es, son útiles para comparar la respuesta de diferentes cubiertas de forma visual, pero no se puede precisar cuantitativamente en el análisis esa información. Se puede afirmar que las firmas espectrales constituyen información complementaria a un análisis cuantitativo.

C) Cálculo de diferencia normalizada.

En este apartado se realizó el análisis cuantitativo de la información estadística obtenida. Esta información cuantitativa será la referencia básica a la hora de tomar decisiones sobre la discriminación de las especies.

La diferencia normalizada (también denominada disimilaridad) trata de cuantificar la diferencia entre dos conjuntos de datos entre sí. Esto se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$DN = (|X_{A(media)} - X_{B(media)}|) / (\sigma_A + \sigma_B), \text{ donde en el numerador figuran las medias y en el denominador, la desviación estándar.}$$

La diferencia entre medias estará en valor absoluto, ya que, son tan separables dos clases con una separación=1 que con una separación= -1.

Esta diferencia normalizada nos indica con exactitud la separación entre dos cubiertas diferentes en cada banda. Como ya se ha comentado anteriormente, las firmas espectrales serán una herramienta útil para apreciar visualmente esta diferencia.

RESULTADOS y DISCUSIÓN

5. RESULTADOS y DISCUSIÓN

5.1 Valores de reflectancia para las diferentes cubiertas

En la siguiente tabla (Tabla 9) se resumen los valores de reflectividad medios obtenidos para las diferentes cubiertas vegetales estudiadas.

	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 6	Banda 7	Banda 8	Banda 9
Acebeda	0,004329	0,014712	0,291439	0,170988	0,078221	0,078174	0,070817	0,04731	0,029852
Argomal (<i>Ulex</i> sp.)	0,013991	0,030977	0,264186	0,203274	0,097675	0,099842	0,090739	0,062148	0,038795
Avellanar (<i>Corylus avellana</i>)	0,014636	0,026792	0,308371	0,197676	0,090548	0,091884	0,082365	0,052156	0,033312
Bojeral (<i>Buxus sempervirens</i>)	0,030291	0,047015	0,281145	0,198798	0,106009	0,11108	0,102165	0,071887	0,045156
Enebral	0,020972	0,035878	0,289254	0,19982	0,094851	0,095543	0,089162	0,061712	0,036735
Espinar (<i>Crataegus monogyna</i>)	0,012122	0,026541	0,25713	0,178236	0,088198	0,089426	0,082077	0,056121	0,034409
Hayedo (<i>Fagus sylvatica</i>)	0,017706	0,020648	0,295869	0,164384	0,078282	0,076201	0,070813	0,047325	0,027307
Helechal	0,01765	0,034855	0,273056	0,213803	0,102939	0,105623	0,096103	0,065948	0,041183
Improductivo afloramientos	0,034676	0,053106	0,256892	0,227045	0,12642	0,131838	0,120133	0,088653	0,058317
Improductivo agua	0,01665	0,019404	0,220376	0,117881	0,06653	0,06639	0,056332	0,033416	0,018523
Majadal (<i>Poa annua</i>)	0,01569	0,022691	0,349884	0,195538	0,086954	0,087013	0,081581	0,054442	0,032116
Matorral de otavera (<i>Genista occidentalis</i>)	0,015156	0,024606	0,293664	0,162567	0,075621	0,072345	0,066125	0,04516	0,027696
Pastizal de <i>Agrostis curtisii</i>	0,011976	0,034683	0,21862	0,180453	0,089747	0,091533	0,082794	0,057749	0,037573
Pastizal de <i>Brachypodium</i> spp.	0,019582	0,037359	0,263397	0,213468	0,105264	0,107793	0,098421	0,068115	0,042209
Pastizal de <i>Festuca ovina</i> gr.	0,020866	0,033056	0,326057	0,19437	0,090126	0,08971	0,08356	0,058618	0,035325
Pastizal de <i>Festuca rubra</i> gr. y <i>Agrostis capillaris</i>	0,014831	0,026613	0,317282	0,199825	0,092403	0,09304	0,085515	0,057759	0,034839
Plantación de abeto rojo (<i>Picea abies</i>)	0,000151	0,01047	0,175857	0,107742	0,063232	0,056391	0,054815	0,036861	0,022782
Plantación de alerce (<i>Larix kaempferi</i>)	0,001454	0,010947	0,182989	0,108459	0,060749	0,054139	0,053848	0,035425	0,02099
Plantación de pino royo (<i>Pinus sylvestris</i>)	0,000273	0,010207	0,172947	0,099088	0,057494	0,049229	0,04828	0,032044	0,019529
Prados y praderas	0,015213	0,018557	0,367219	0,171086	0,076568	0,074221	0,069551	0,045121	0,024339
Retamar (<i>Cytisus scoparius</i>)	0,016358	0,031867	0,284358	0,187653	0,092711	0,093469	0,084132	0,059201	0,034671
Zarzal (<i>Rubus</i> sp.)	0,013996	0,0235	0,325235	0,183527	0,085058	0,084241	0,077192	0,052252	0,029589

Tabla 9. Valores medios de reflectividad.
(Ver ANEXO I-A)

En la tabla 9 de reflectividad media se observa cómo las dos primeras bandas presentan valores más bajos, mientras en la banda 3 hay un notable incremento de esta reflectividad que va reduciéndose en las siguientes bandas.

Este comportamiento, en las dos primeras bandas, responde a la presencia de pigmentos fotosintéticos y agua en el interior de las hojas. Los pigmentos absorben la radiación en estas bandas y en consecuencia, los valores de las bandas 1 y 2 son bajos. Por otro lado, en el infrarrojo cercano (banda 3) se aprecian los mayores valores de reflectividad producidos por el mesófilo de las hojas, que al ser una capa esponjosa con cavidades de aire, difunde y dispersa la mayor parte de la radiación incidente. Sin embargo, en el infrarrojo medio, la absorción de energía por parte del agua provoca que la curva de reflectividad caiga bruscamente.

Si comparamos estos datos con la signature espectral característica de la vegetación sana (Figura 9), se constata que la tendencia de ambos datos coinciden. Esto se aprecia con mayor claridad en las signatures espectrales obtenidas para cada cubierta (Ver ANEXO II).

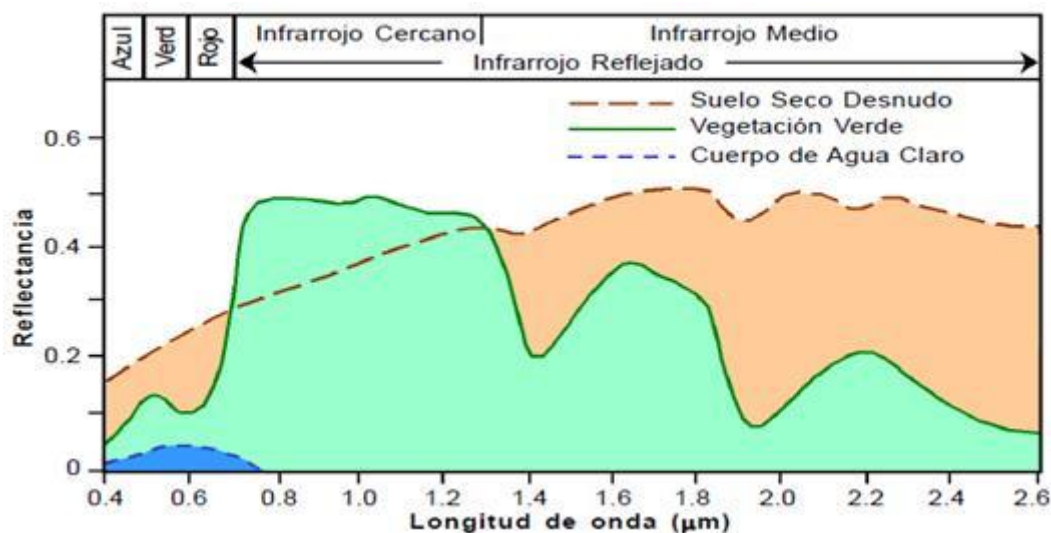


Figura 9. Signaturas espectrales de vegetación verde, suelo desnudo y agua.
Fuente: www.monografias.com/.../manejo-envi/image022.jpg

El hecho de que los datos obtenidos fueran acordes con los de la tendencia de la signatura de vegetación sana, permite afirmar que las zonas estudiadas estaban en sus cualidades óptimas, es decir, que no presentaban alteraciones debido a sequía, enfermedades y otros factores. Aunque se debe matizar que los datos obtenidos son medias de reflectividad y que por tanto, no todos los puntos de cada zona tienen por qué estar en las mismas condiciones. Hay que tener en cuenta que la imagen fue adquirida en mayo, periodo del año en que, tras el invierno, se produce un importante desarrollo vegetativo de la práctica totalidad de las especies estudiadas.

Respecto a las zonas calificadas como improproductivas en la cartografía de referencia, se observa que mantienen también la tendencia de la vegetación sana. Esto es debido a que a pesar de que están clasificadas como zonas improproductivas para el pasto de ganado, presentan algún tipo de cubierta vegetal, por lo que se analizarán junto con las demás especies.

5.2 Análisis de *B. pinnatum*

En el apartado de metodología se comentó que se habían delimitado y calculado los valores de reflectancia de tres zonas donde predominaba *B. pinnatum*. La siguiente tabla (Tabla 10) muestra los valores de reflectividad obtenidos en estas tres zonas y los obtenidos con la cartografía general.

	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 6	Banda 7	Banda 8	Banda 9
<i>B. pinnatum</i> , tres zonas	0,019697	0,039120	0,232066	0,209936	0,108100	0,110975	0,101731	0,070954	0,043930
<i>B. pinnatum</i> , cartgrf. general	0,019582	0,037359	0,263397	0,213468	0,105264	0,107793	0,098421	0,068115	0,042209

Tabla 10. Valores medios de reflectividad de *B. pinnatum*.

Tal y como se observa en la figura 10 los valores de reflectividad de ambas zonas se asemejan, aunque en la banda 3 el valor de *B. pinnatum* de la cartografía general es ligeramente superior. Aun así, se puede afirmar que las zonas delimitadas en la cartografía de referencia como *B. pinnatum* tienen una respuesta prácticamente idéntica a zonas en las que la cobertura de esta especie es completa.

En la siguiente signatura espectral (Figura 10), se visualiza la comparación de las dos zonas de *B. pinnatum*.

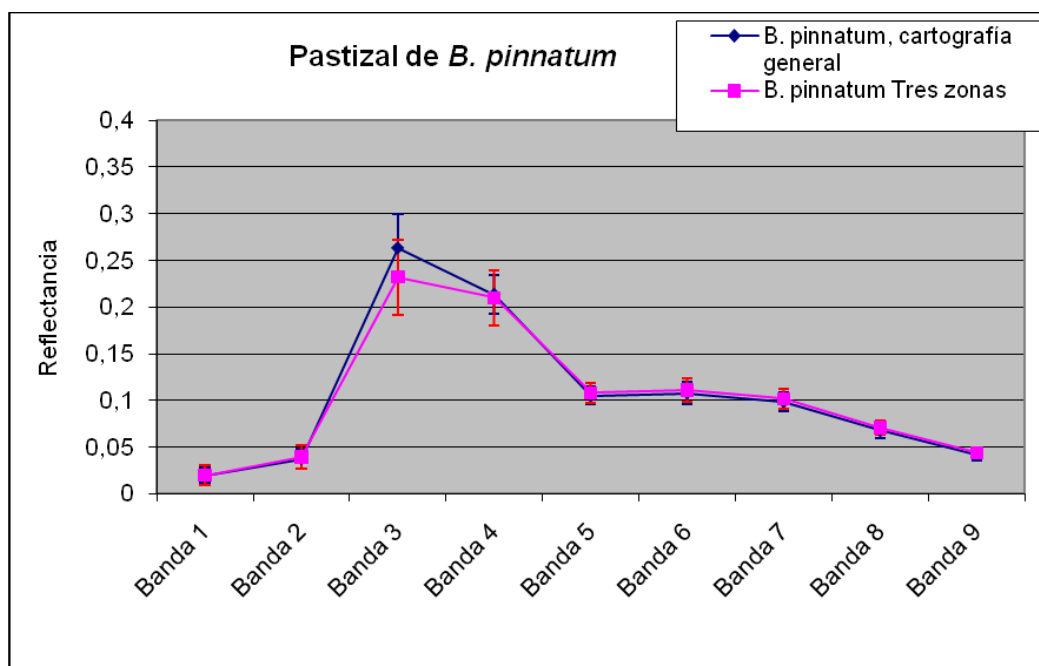


Figura 10. Comparación de las dos signaturas espectrales de *B. pinnatum*.

Siendo similares los valores, a la hora de comparar signaturas se utilizarán los valores de reflectividad asignados para *B. pinnatum* en la visita a campo.

5.3 Diferencia normalizada

La siguiente tabla (Tabla 11) recoge los valores de diferencia normalizada (DN) de las reflectividades entre los datos obtenidos para *B. pinnatum* y las demás especies analizadas.

	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 6	Banda 7	Banda 8	Banda 9	MEDIA
<i>B. pinnatum</i> / Acebeda	0,98349	1,36801	0,80087	0,97975	1,93467	1,85947	1,93309	1,88308	1,60891	1,48348
<i>B. pinnatum</i> / Argomal	0,34217	0,36322	0,37309	0,13940	0,49518	0,43504	0,49409	0,52879	0,42522	0,39958
<i>B. pinnatum</i> / Avellanar	0,42119	0,66006	1,28605	0,39152	1,61740	1,28993	1,61075	1,95935	1,48607	1,19137
<i>B. pinnatum</i> / Bojeral	0,34648	0,22481	0,58645	0,20120	0,07211	0,00291	0,01328	0,03396	0,05652	0,17086
<i>B. pinnatum</i> / Enebral	0,06900	0,13156	0,71728	0,21288	0,65781	0,61241	0,59736	0,52637	0,57898	0,45596
<i>B. pinnatum</i> / Espinar	0,45495	0,55934	0,28612	0,56581	0,90794	0,78127	0,83720	0,83698	0,78640	0,66845
<i>B. pinnatum</i> / Hayedo	0,11310	0,94874	0,75568	0,94811	1,49982	1,44795	1,51418	1,60229	1,53917	1,15212
<i>B. pinnatum</i> / Helechal	0,12092	0,17974	0,50612	0,07395	0,20902	0,18093	0,22227	0,25988	0,19306	0,21621
<i>B. pinnatum</i> / Improductivo afloramientos	0,51370	0,39333	0,29212	0,28643	0,53960	0,50056	0,51104	0,60400	0,64053	0,47570
<i>B. pinnatum</i> / Improductivo agua	0,17304	1,16525	0,12219	1,93409	2,40888	2,20053	2,62346	3,00954	2,80461	1,82684
<i>B. pinnatum</i> / Majadal	0,20469	0,70248	1,31161	0,27654	0,98390	0,88408	0,80807	0,91111	0,84446	0,76966
<i>B. pinnatum</i> / Matorral de otavera	0,32794	0,80687	0,83180	1,00386	1,95057	1,73868	1,97668	1,84731	1,85722	1,37122
<i>B. pinnatum</i> / Pastizal de Agrostis curtisii	0,54821	0,26202	0,21275	0,73436	1,18667	1,01860	1,14888	1,19730	0,80765	0,79071
<i>B. pinnatum</i> / Pastizal de Festuca ovina gr.	0,06668	0,28214	1,20853	0,35890	0,96344	1,08081	0,99676	0,85423	0,74066	0,72802
<i>B. pinnatum</i> / Pastizal de Festuca rubra gr. y Agrostis capillaris	0,26754	0,52104	0,95423	0,20512	0,68627	0,65751	0,68691	0,72688	0,66367	0,59658
<i>B. pinnatum</i> / Plantación de abeto rojo	1,54341	1,70110	0,79418	2,55090	2,72026	2,63182	2,45120	2,66706	2,67121	2,19235
<i>B. pinnatum</i> / Plantación de alerce	1,31718	1,76280	0,65926	2,54335	3,04684	2,89345	2,65427	3,03433	2,87181	2,30925
<i>B. pinnatum</i> / Plantación de pino royo	1,33485	1,56151	0,80120	2,30871	2,70115	2,62325	2,58880	2,72326	2,56098	2,13375
<i>B. pinnatum</i> / Prados y praderas	0,28613	1,03145	1,59601	0,94888	1,70112	1,67773	1,72334	1,92697	2,02261	1,43492
<i>B. pinnatum</i> / Retamar	0,19582	0,29711	0,63211	0,43934	0,66161	0,61073	0,22300	0,62589	0,69569	0,54251
<i>B. pinnatum</i> / Zarzal	0,39053	0,78845	1,06988	0,62168	1,26071	1,19819	1,28935	1,38749	1,48719	1,05483
Media de bandas	0,47719	0,74814	0,75226	0,84404	1,34309	1,25361	1,30501	1,38791	1,30203	

Tabla 11. Diferencia normalizada de los valores de reflectividad, entre los datos de *B. pinnatum* y los de las demás especies. La media en vertical refleja la separación media entre *B. pinnatum* y cada especie. La media de bandas se refiere a la separabilidad media en cada banda, teniendo en cuenta todas las especies.

(Ver ANEXO I-B)

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se puede apreciar que en el **espectro visible** (bandas 1,2) las diferencias entre reflectividades no son muy significativas. Esto es debido a que al ser primavera, las plantas están en un periodo fotosintéticamente activo y absorben la radiancia, por lo que tienen reflectividades bajas y muy similares. Conviene destacar sin embargo, que algunas especies muestran diferencias en estas bandas.

Respecto a las bandas del **infrarrojo cercano** (banda 3), tampoco se observan diferencias significativas en la separación entre datos de *B. pinnatum* y las demás especies, aunque en algunas especies sí que las hay.

En el **infrarrojo medio** en cambio, sí se aprecian mayores diferencias de los datos. En estas bandas, la cantidad de reflectividad emitida está muy condicionada por la humedad o contenido de agua de las hojas. Por lo que es normal que se aprecie una mayor diferencia de datos, ya que debido a las características fisiológicas de cada especie, no todas tienen la misma capacidad de adquirir agua, ni las mismas necesidades, ni el mismo grado de humedad en hoja.

5.3.1 Criterios de discriminación

Para interpretar los valores de diferencia normalizada obtenidos es necesario establecer un criterio o umbral que determine el límite entre lo que puede considerarse diferente respecto a lo que parece similar. Del mismo modo es interesante poder establecer una gradación entre diferentes niveles de disimilaridad, es decir, muy diferente vs. poco diferente. Tras analizar diversas firmas espectrales y sus correspondientes valores de diferencia

normalizada (sobre todo los comprendidos entre 0,99-1,28), se ha fijado arbitrariamente el valor umbral de DN que permitirá diferenciar una especie respecto a *B. pinnatum*, límite que ha quedado establecido en el valor de 1,00. Los siguientes gráficos (Figuras 11 y 12) muestran dos casos cercanos al valor umbral de 1,00.

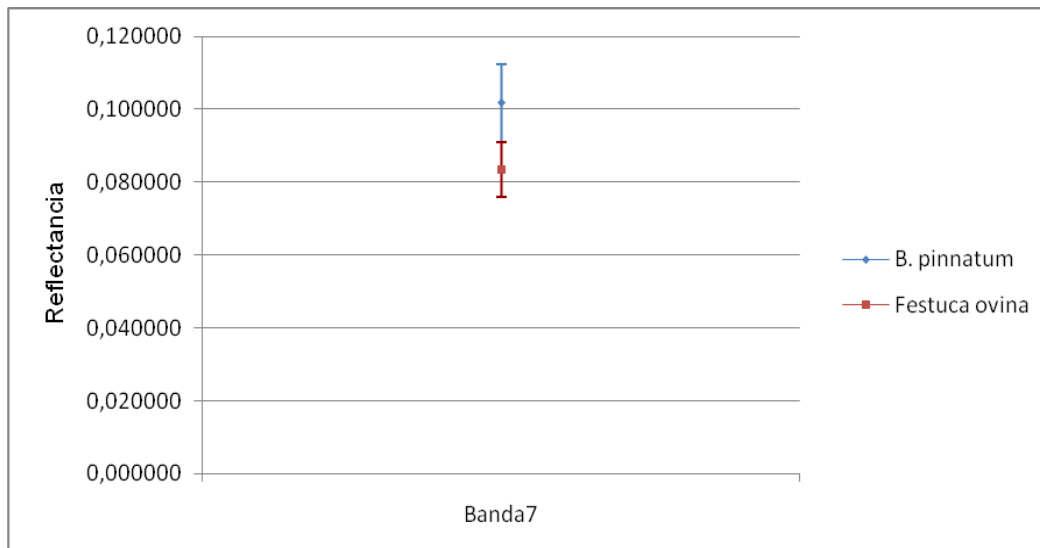


Figura 11. Valores de reflectividad y desviación típica en banda 7 de *Festuca ovina* y *B.pinnatum*.

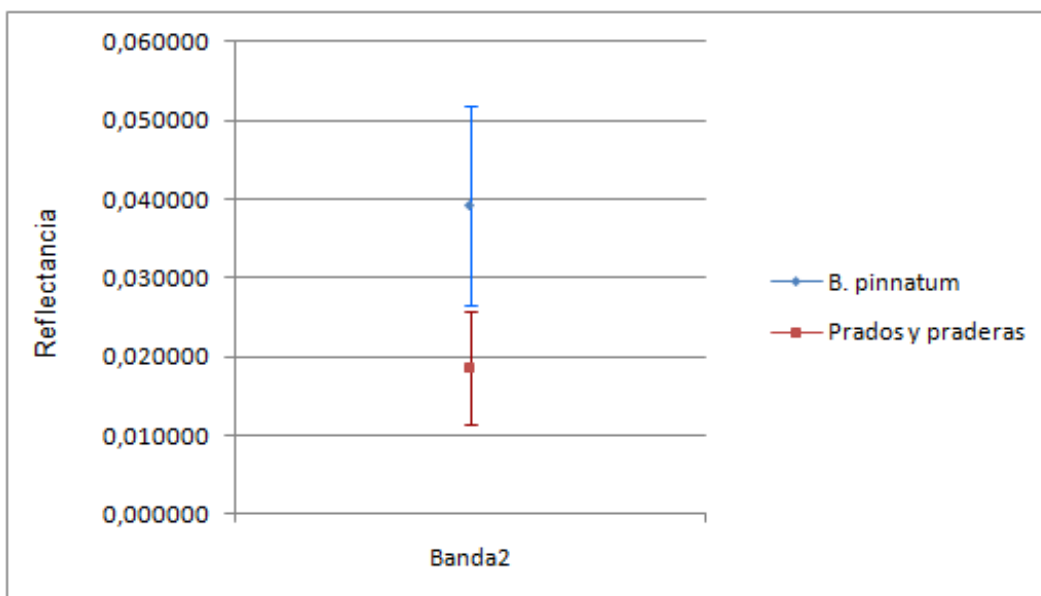


Figura 12. Valores de reflectividad y desviación típica en banda 2 de prados y praderas y *B. pinnatum*.

En el primer gráfico (Figura 11) se comprueba que en el valor de separación 0,99676 *B. pinnatum* y *Festuca ovina* muestran todavía un pequeño grado de similitud, mientras que con un índice de separación 1,03145 *B. pinnatum* es claramente diferenciable de prados y praderas (Figura 12).

Los resultados de estos gráficos permiten justificar los límites establecidos para la separación entre *B. pinnatum* y las demás especies, separación que se ha establecido siguiendo los valores representados en la siguiente tabla (Tabla 12).

Diferencia normalizada	Baja	Regular	Alta
	<1,00	1,00 – 1,20	1,20<

Tabla 12. Rangos de disimilaridad en base a los valores de diferencia normalizada calculados.

Es conveniente aclarar que si bien los valores de diferencia normalizada comprendidos entre 1,00-1,20 son separables, no se puede afirmar que son lo suficientemente significativos para diferenciar claramente dos especies entre sí.

A continuación presentamos un gráfico comparativo (Figura 13) que indica que la especie con menor separabilidad respecto a *B. pinnatum* es el bojeral, mientras que el alerce es la especie con una mayor separación media respecto a *B. pinnatum*.

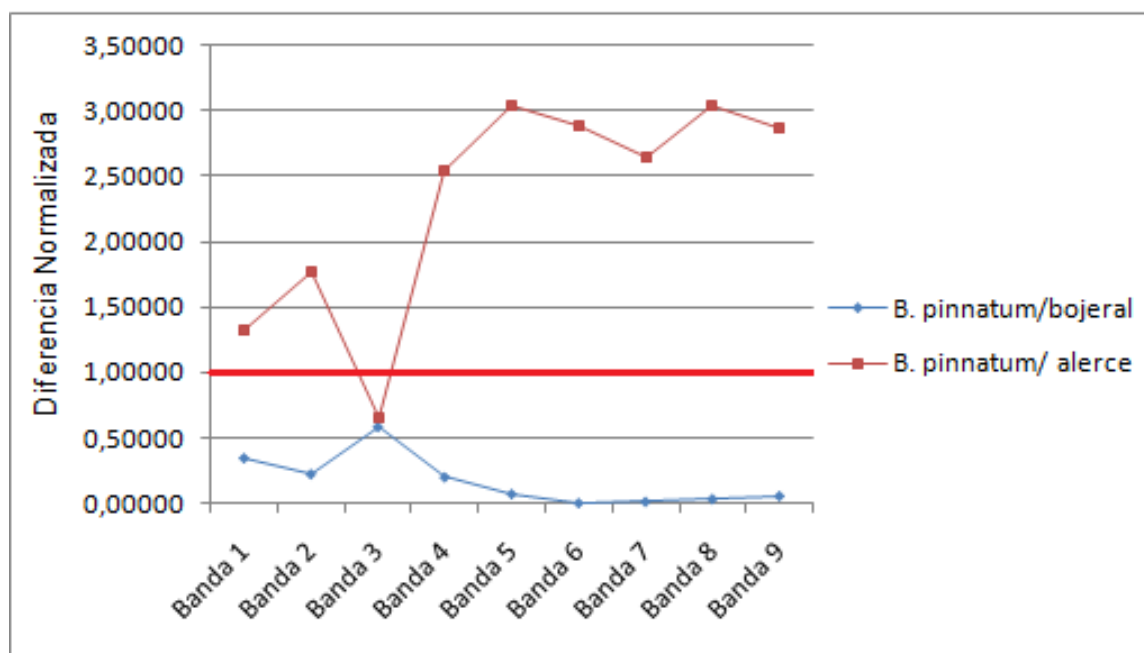


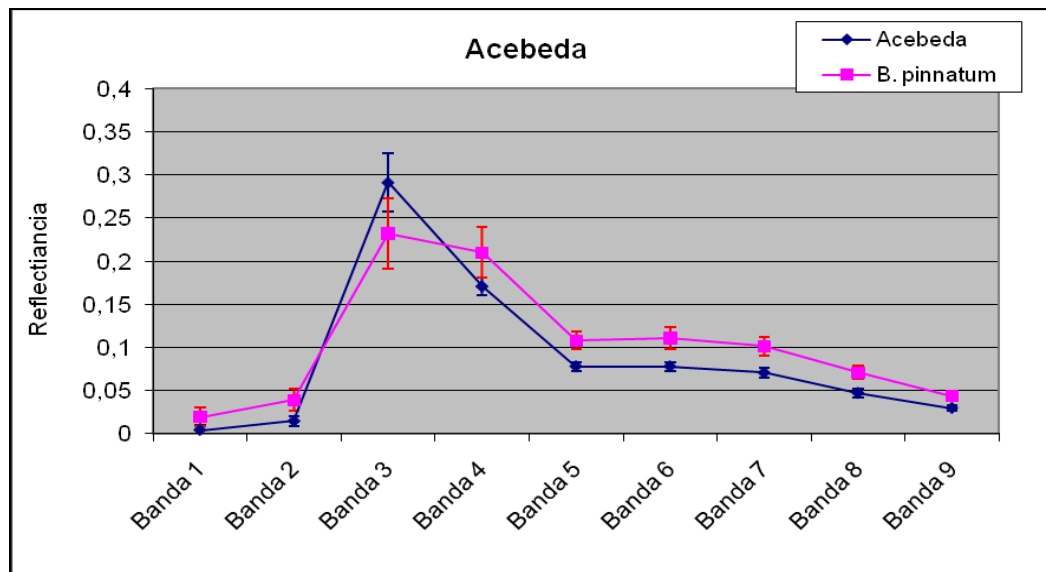
Figura 13. Separación del bojeral y alerce respecto al a *B. pinnatum*
La línea roja muestra el valor límite de separación.

En la figura 13 se visualiza gráficamente el límite fijado para realizar la discriminación de bandas. En este gráfico se puede apreciar que mientras el bojeral no se diferencia claramente de *B. pinnatum* en ninguna banda, el alerce se diferencia en todas las bandas excepto en la 3.

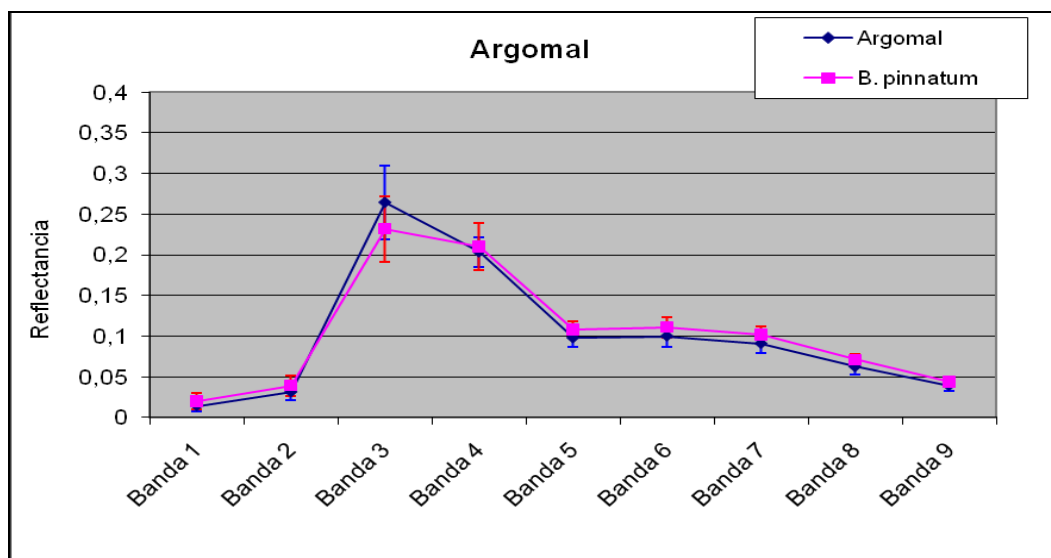
5.3.2 Clasificación de bandas

En las siguientes figuras se muestra la capacidad de discriminación en las bandas de cada especie respecto a *B. pinnatum*.

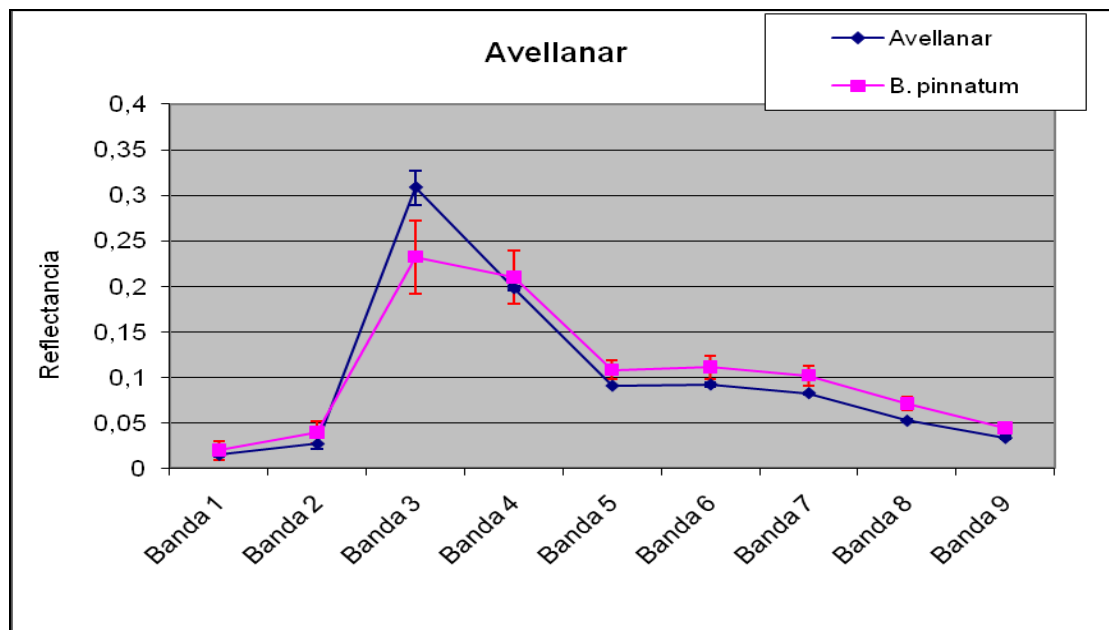
A) Pastos arbustivos



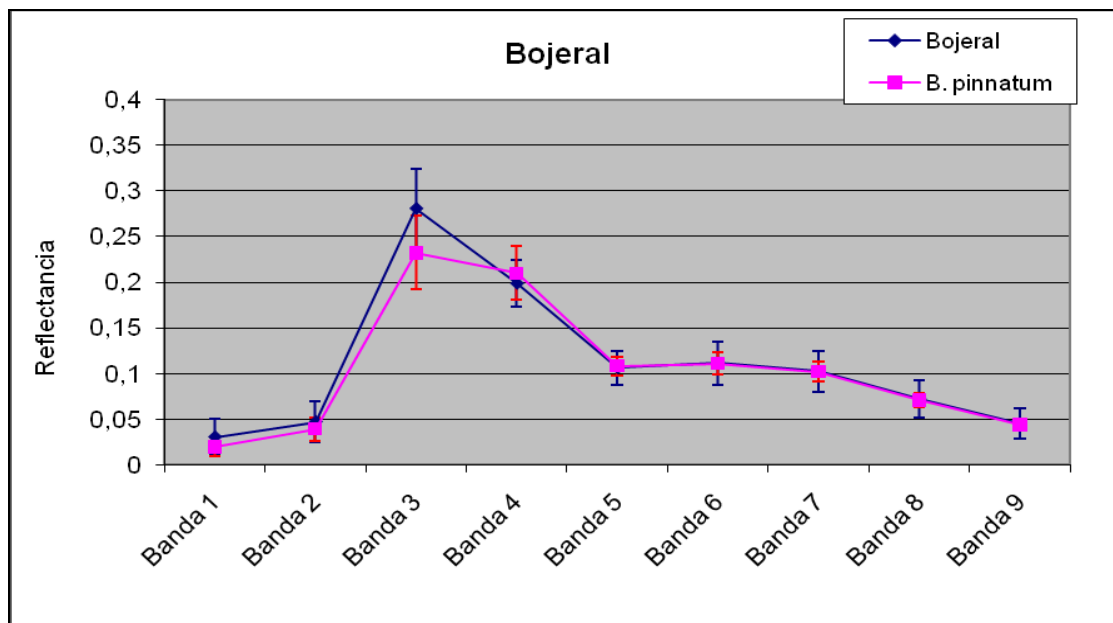
Separación: acebeda - <i>B. pinnatum</i> .							
	Baja	Regular	Alta		Mínima	Máxima	Media
Bandas	1,3,4	-	2,5,6,7,8,9	DN	0,801(b3)	1,935(b5)	1,483



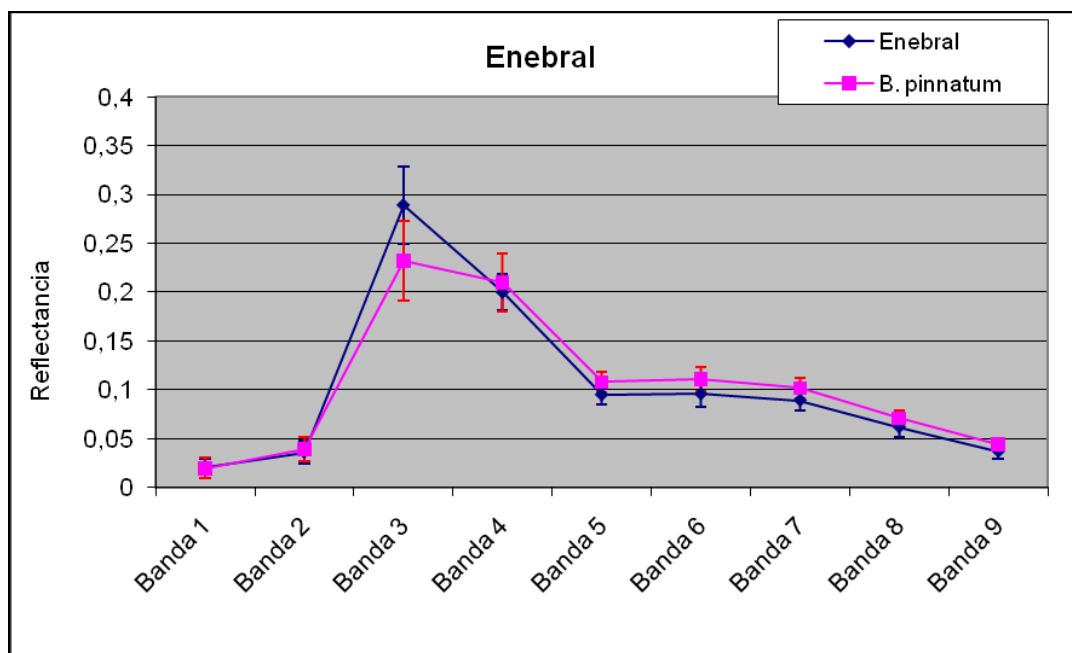
Separación: argomal - <i>B. pinnatum</i> .							
	Baja	Regular	Alta		Mínima	Máxima	Media
Bandas	1,2,3,4,5,6,7,8,9	-	-	DN	0,139(b4)	0,529(b8)	0,400



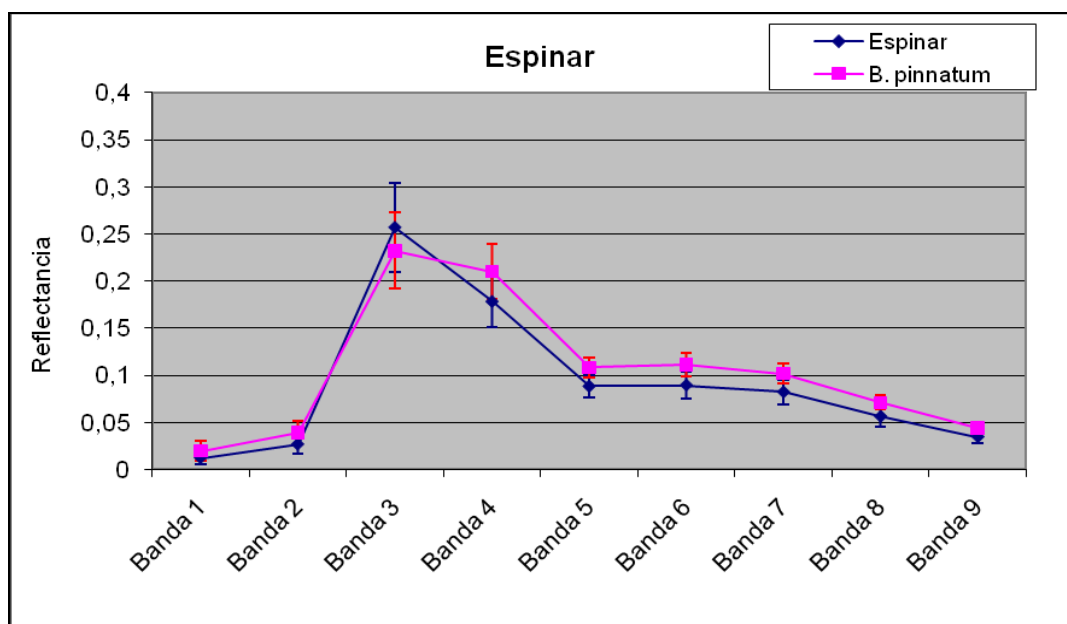
Separación: avellanar - <i>B. pinnatum</i> .							
	Baja	Regular	Alta		Mínima	Máxima	Media
Bandas	1,2,4	-	3,5,6,7,8,9	DN	0,392(b4)	1,959(b8)	1,191



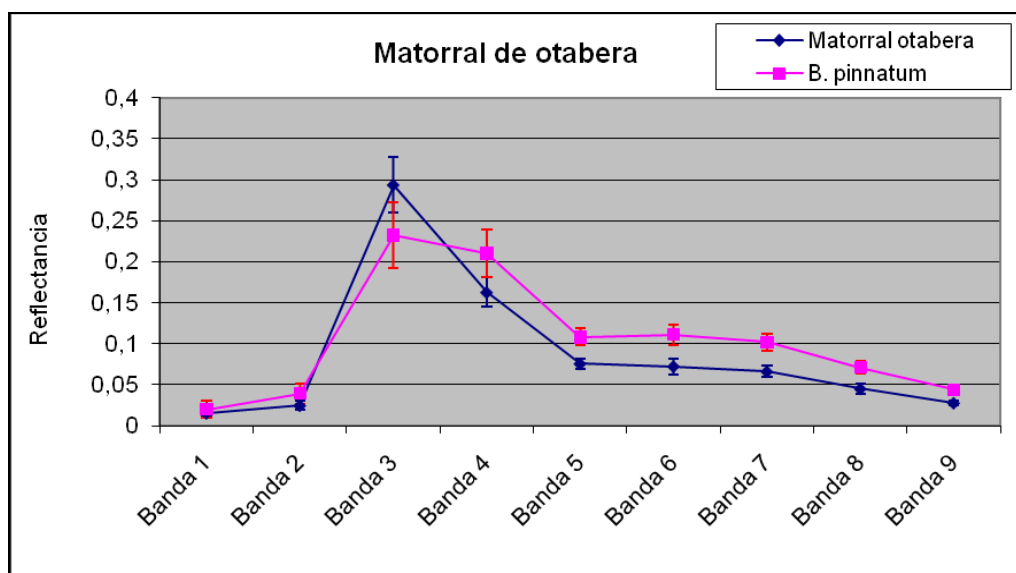
Separación: bojeral - <i>B. pinnatum</i> .							
	Baja	Regular	Alta		Mínima	Máxima	Media
Bandas	1,2,3,4,5,6,7,8,9	-	-	DN	0,003(b6)	0,586(b3)	0,171



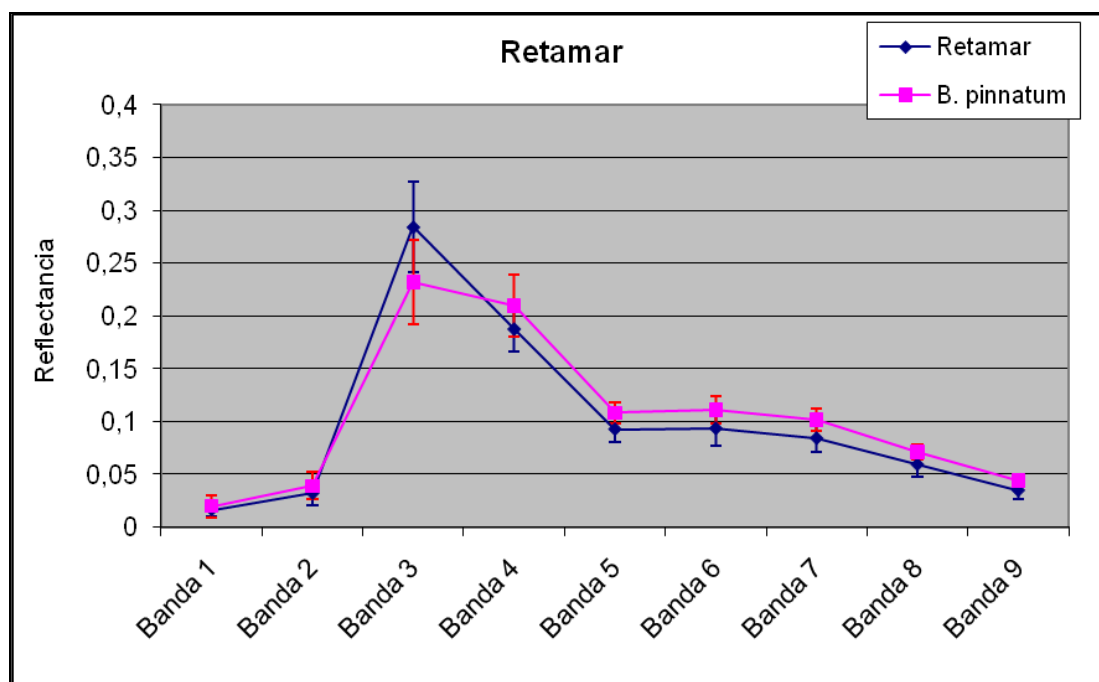
Separación: enebral - <i>B. pinnatum</i> .							
	Baja	Regular	Alta		Mínima	Máxima	Media
Bandas	1,2,3,4,5,6,7,8,9	-	-	DN	0,069(b1)	0,717(b3)	0,456



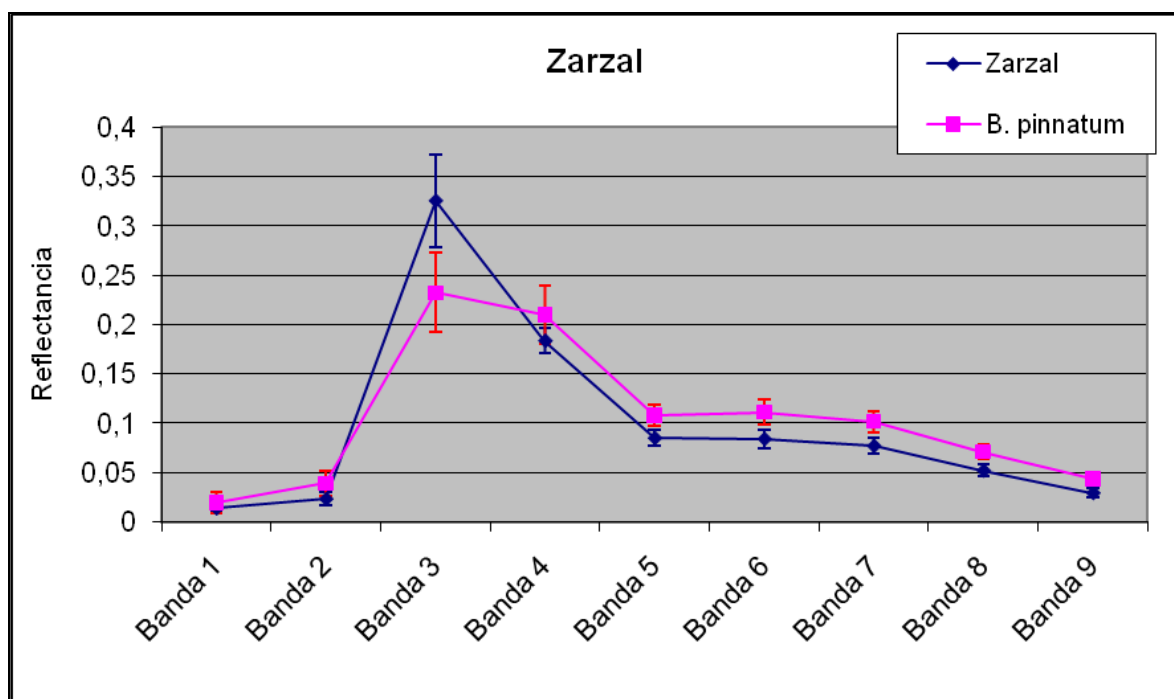
Separación: espinar - <i>B. pinnatum</i> .							
	Baja	Regular	Alta		Mínima	Máxima	Media
Bandas	1,2,3,4,5,6,7,8,9	-	-	DN	0,286(b3)	0,908(b5)	0,668



Separación: matorral de otavera - <i>B. pinnatum</i> .							
	Baja	Regular	Alta		Mínima	Máxima	Media
Bandas	1,2,3	4	5,6,7,8,9	DN	0,328(b1)	1,977(b7)	1,371

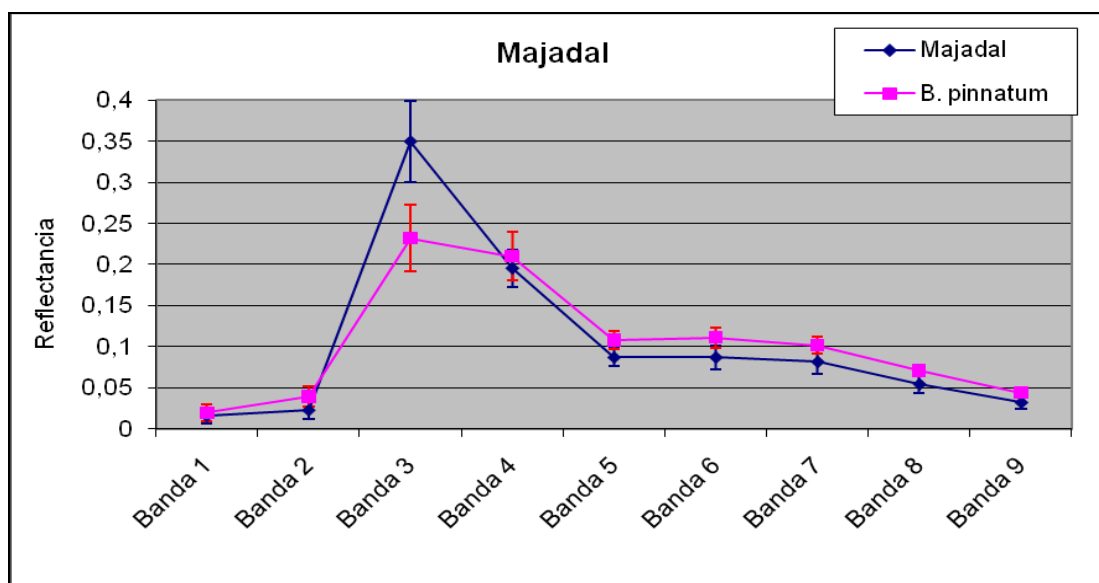


Separación: retamar - <i>B. pinnatum</i> .							
	Baja	Regular	Alta		Mínima	Máxima	Media
Bandas	1,2,3,4,5,6,7,8,9	-	-	DN	0,196(b1)	0,724(b7)	0,543

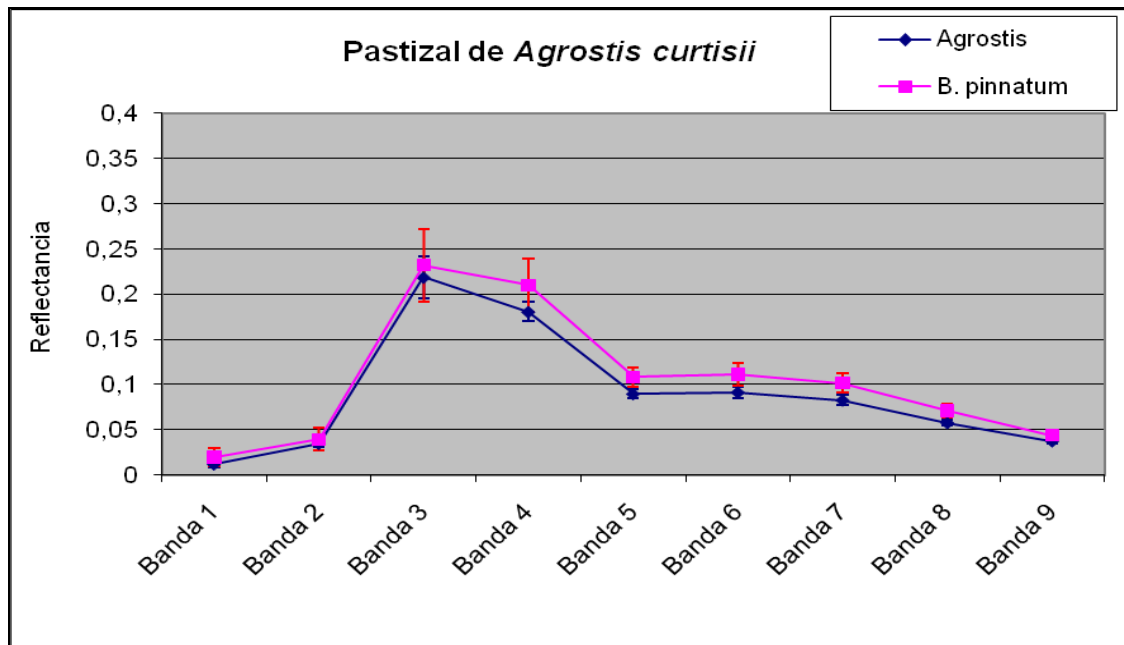


Separación: zarzal - <i>B. pinnatum</i> .							
	Baja	Regular	Alta		Mínima	Máxima	Media
Bandas	1,2,4	3,6	5,7,8,9	DN	0,391(b1)	1,487(b9)	1,055

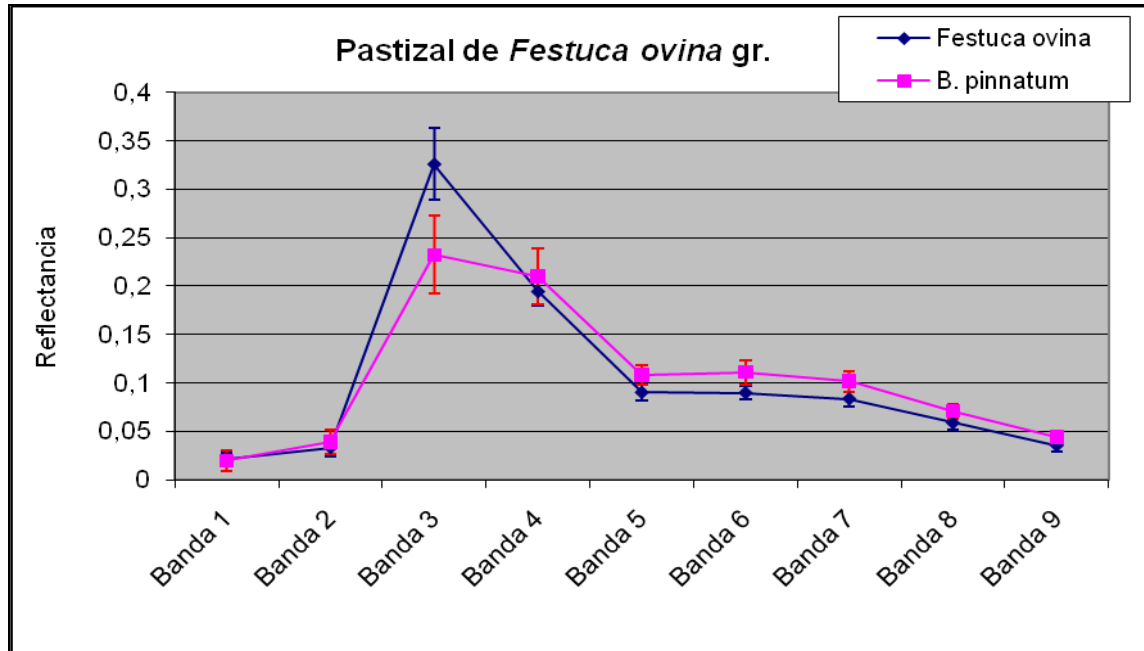
B) Pastos herbáceos



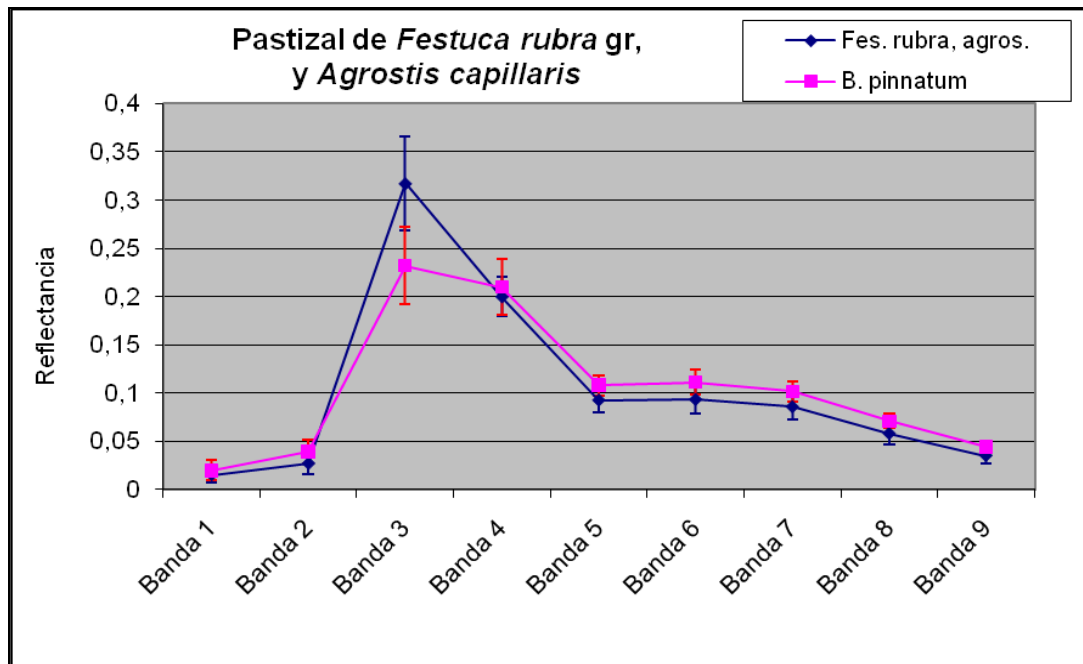
Separación: majadal - <i>B. pinnatum</i> .							
	Baja	Regular	Alta		Mínima	Máxima	Media
Bandas	1,2,4,5,6,7,8,9	-	3	DN	0,205(b1)	1,312(b3)	0,770



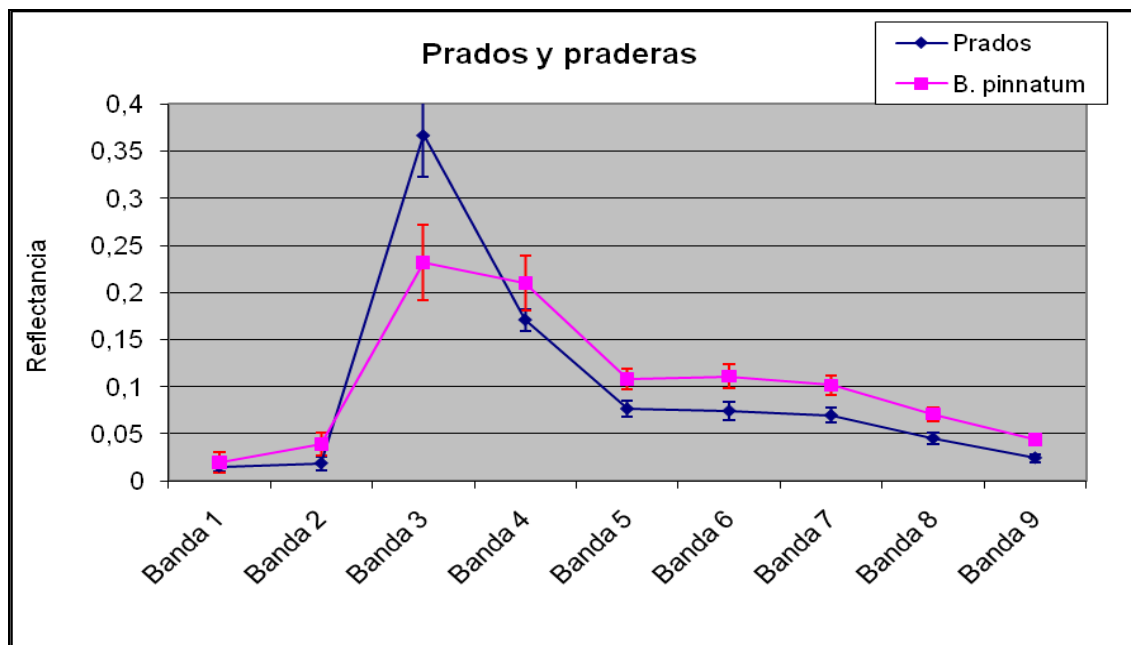
Separación: <i>Agrostis curtisii</i> - <i>B. pinnatum</i> .							
	Baja	Regular	Alta		Mínima	Máxima	Media
Bandas	1,2,3,4,9	5,6,7,8	-	DN	0,213(b3)	1,197(b8)	0,791



Separación: <i>Festuca ovina</i> - <i>B. pinnatum</i> .							
	Baja	Regular	Alta		Mínima	Máxima	Media
Bandas	1,2,4,5,7,8,9	6	3	DN	0,067(b1)	1,209(b3)	0,728

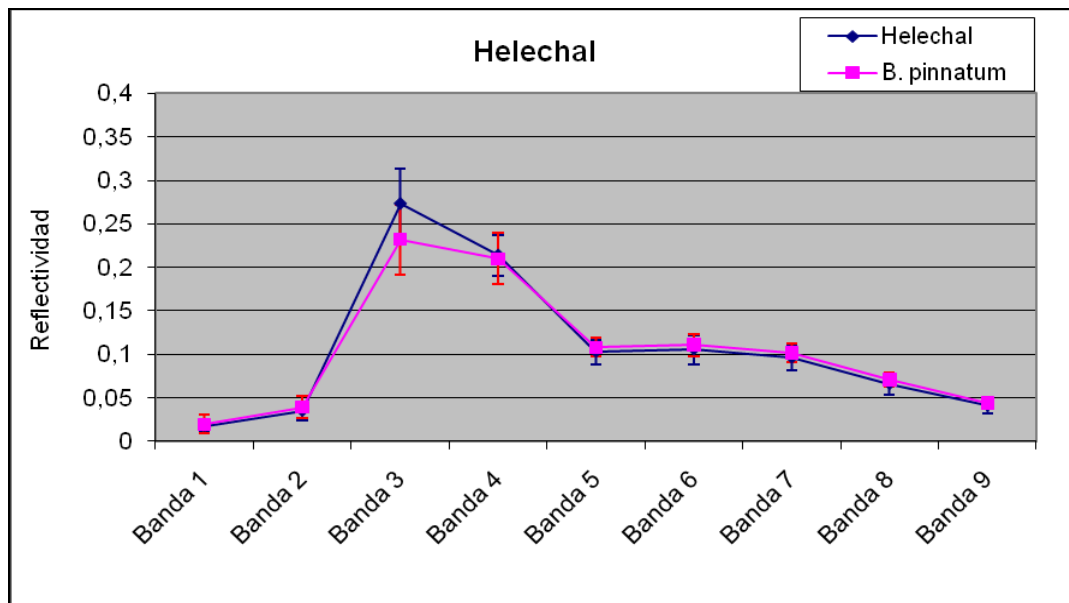


Separación: <i>Festuca rubra</i> y <i>Agrostis calpillaris</i> - <i>B. pinnatum</i> .							
	Baja	Regular	Alta		Mínima	Máxima	Media
Bandas	1,2,3,4,5,6,7,8,9	-	-	DN	0,205(b4)	0,954(b3)	0,597



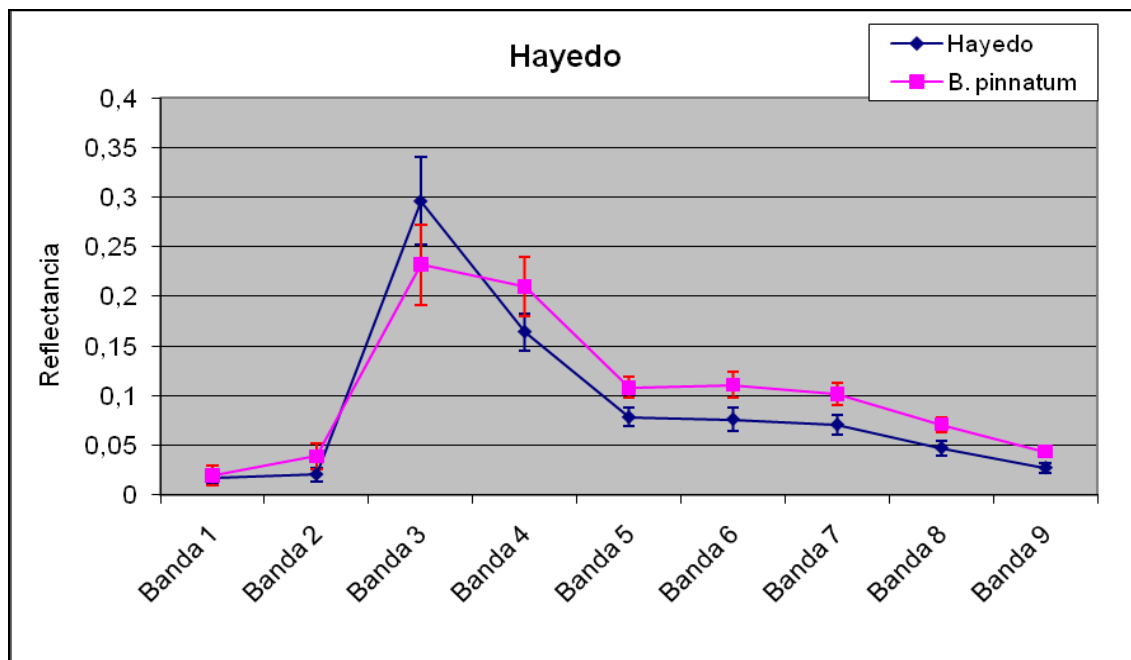
Separación: prados y praderas - <i>B. pinnatum</i> .							
	Baja	Regular	Alta		Mínima	Máxima	Media
Bandas	1,4	2	3,5,6,7,8,9	DN	0,286(b1)	2,023(b9)	1,435

D) Helechal

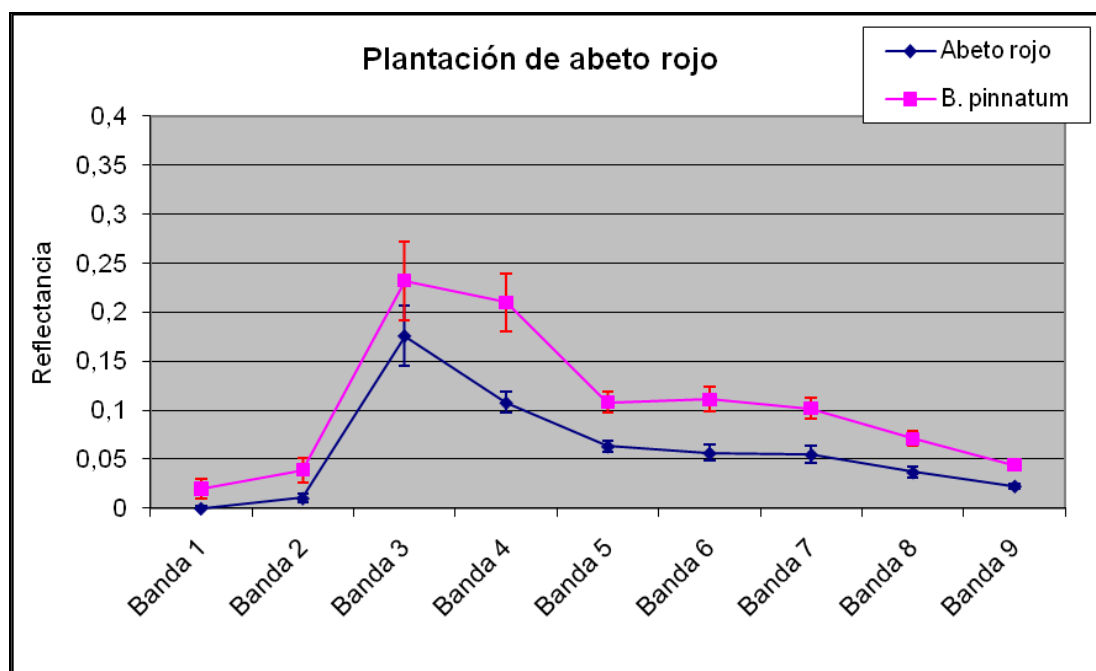
Separación: helechal - *B. pinnatum*.

	Baja	Regular	Alta		Mínima	Máxima	Media
Bandas	1,2,3,4,5,6,7,8,9	-	-	DN	0,074(b4)	0,506(b3)	0,216

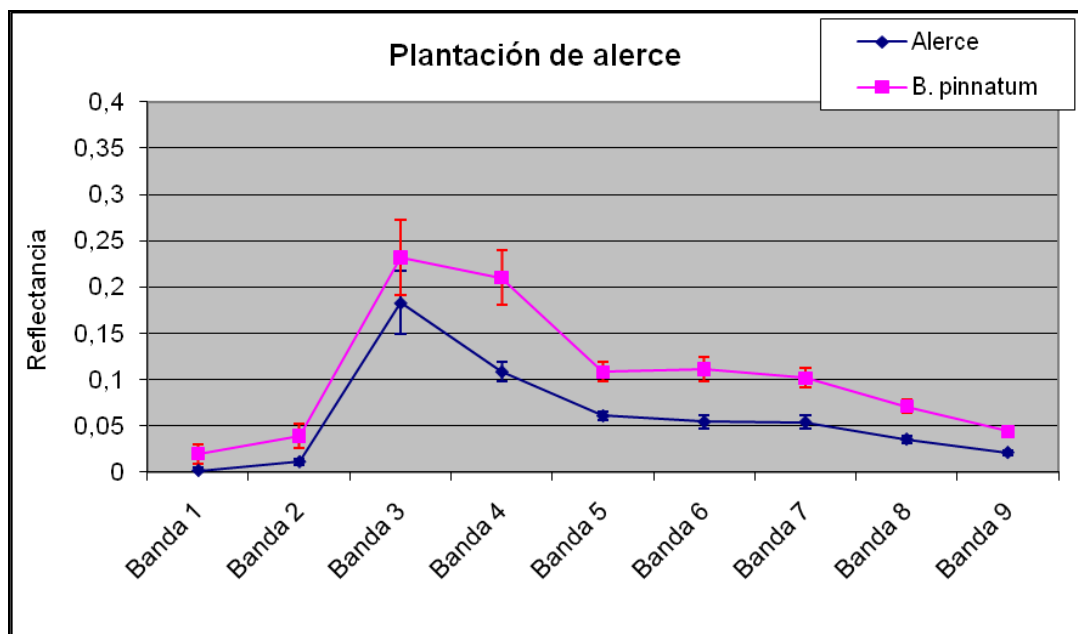
D) Arbóreos

Separación: hayedo - *B. pinnatum*.

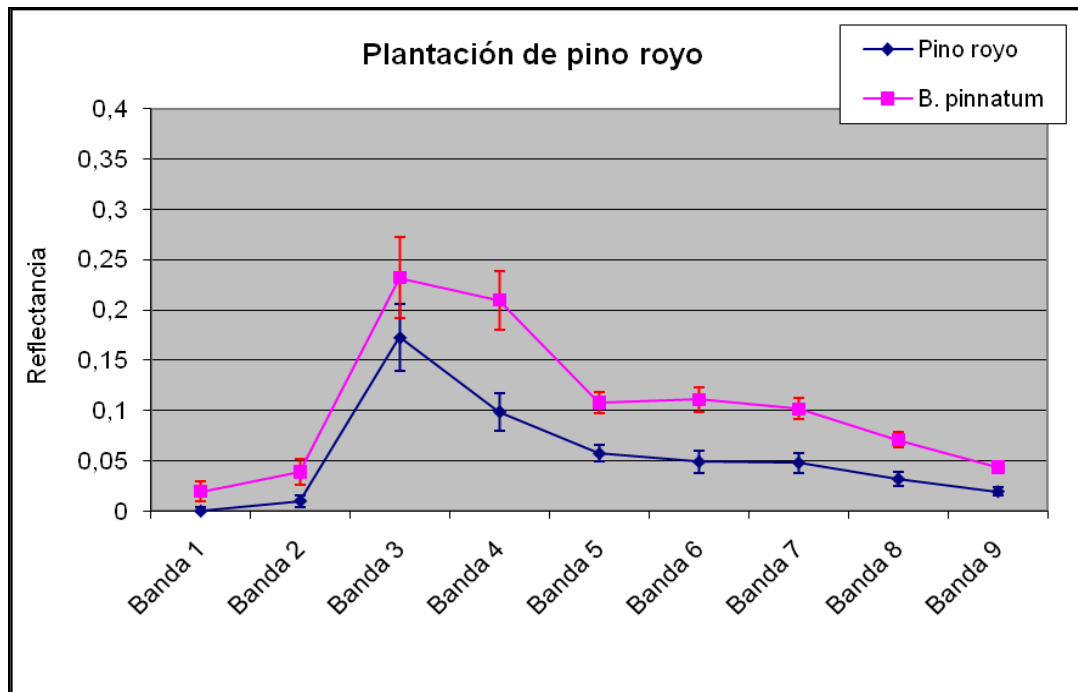
	Baja	Regular	Alta		Mínima	Máxima	Media
Bandas	1,2,3,4	-	5,6,7,8,9	DN	0,113(b1)	1,602(b8)	1,152



Separación: abeto rojo - <i>B. pinnatum</i> .							
	Baja	Regular	Alta		Mínima	Máxima	Media
Bandas	3	-	1,2,4,5,6,7,8,9	DN	0,794(b3)	2,720(b5)	2,192

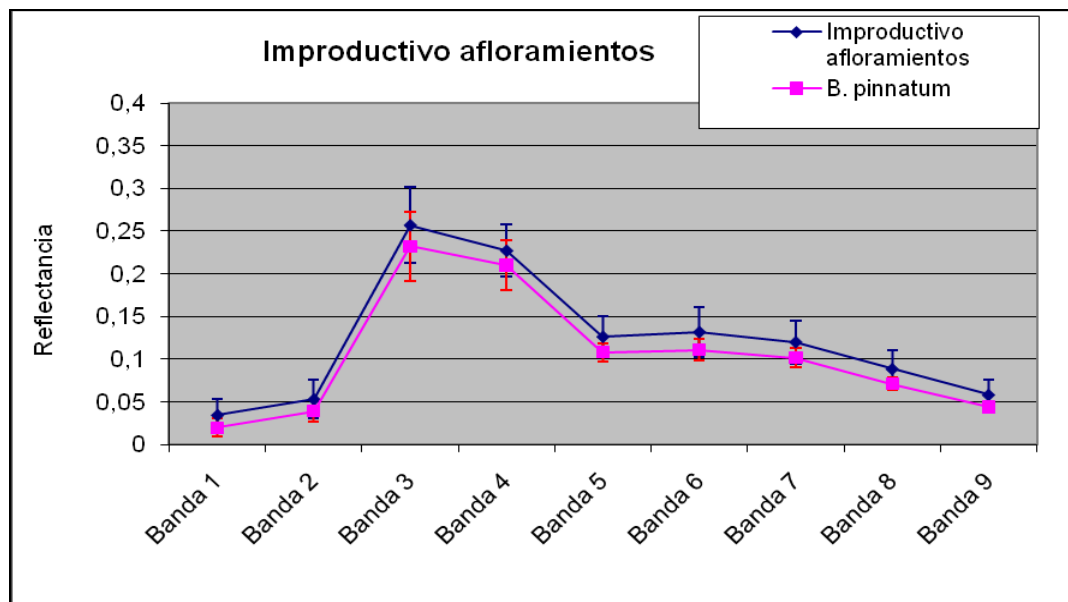


Separación: alerce - <i>B. pinnatum</i> .							
	Baja	Regular	Alta		Mínima	Máxima	Media
Bandas	3	-	1,2,4,5,6,7,8,9	DN	0,659(b3)	3,047(b5)	2,309

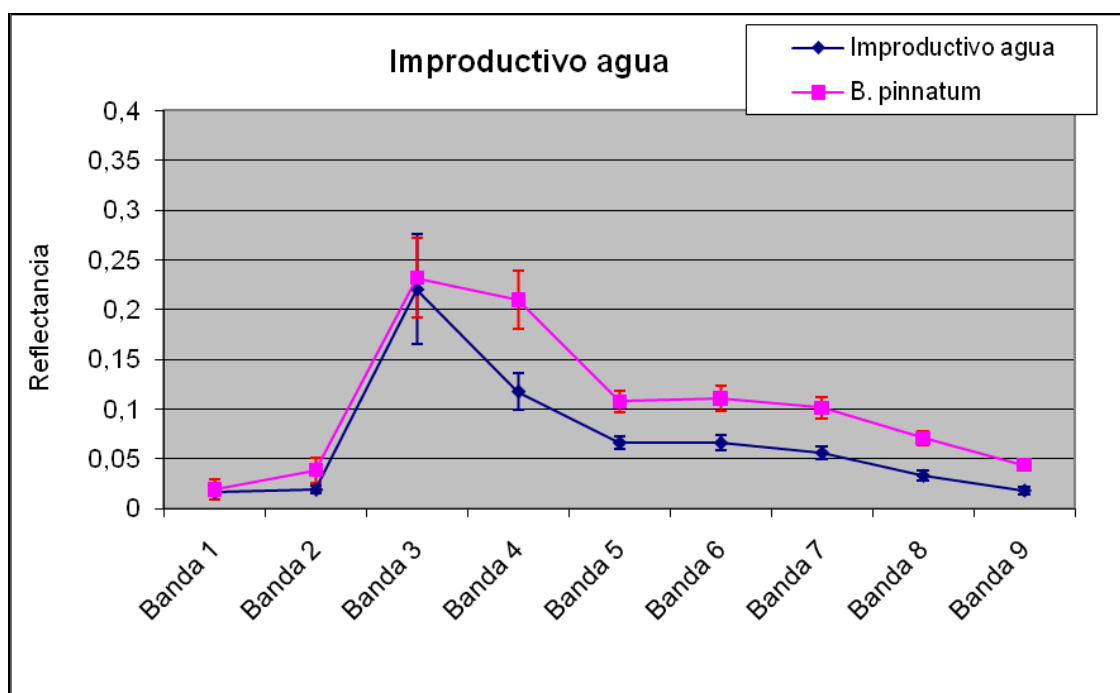


Separación: pino royo - <i>B. pinnatum</i> .							
	Baja	Regular	Alta		Mínima	Máxima	Media
Bandas	3	-	1,2,4,5,6,7,8,9	DN	0,801(b3)	2,723(b8)	2,134

E) Improductivos



Separación: impro. Afloramientos - <i>B. pinnatum</i> .							
	Baja	Regular	Alta		Mínima	Máxima	Media
Bandas	1,2,3,4,5,6,7,8,9	-	-	DN	0,286(b4)	0,6406(b9)	0,476



Separación: impro. Agua - <i>B. pinnatum</i> .							
	Baja	Regular	Alta		Mínima	Máxima	Media
Bandas	1,3	2	4,5,6,7,8,9	DN	0,122(b3)	3,010(b8)	1,827

Figura 14. Comparación de signatures espectrales y discriminación de bandas. Valores mínimos, máximos y medios de la separación entre *B. pinnatum* y cada especie.

5.3.3 Análisis de los resultados de diferencia normalizada.

Antes de comenzar el análisis, conviene recordar que las bandas con una separación regular no se consideran idóneas para realizar una correcta discriminación entre especies.

En el análisis del **infrarrojo medio** (bandas 4,5,6,7,8,9), se observa que son las bandas que presentan una mayor separación de datos. Esta separación se produce por la desigual cantidad de humedad que contienen las hojas de las distintas especies debido a sus diferentes características fenológicas. A menor cantidad de humedad se produce una mayor reflectividad. Estos resultados

indican que pueden existir diferencias significativas entre las diferentes especies en cuanto a esta característica.

Entre las especies estudiadas, es *B. pinnatum* la que presenta los valores más altos de reflectividad, posiblemente debido a la abundante necromasa presente en los pastizales de *B. pinnatum*. Esta necromasa al estar seca, emite altos valores de reflectividad en las bandas del infrarrojo medio, posibilitando esta diferencia respecto a los valores de reflectividad de las demás especies.

Estas son algunas conclusiones que podemos extraer del análisis del infrarrojo medio (bandas 4,5,6,7,8,9):

- En las especies de tipo arbustivo, la discriminación de bandas en el infrarrojo medio se puede realizar en la acebeda, avellanar, matorral de otabera y zarzal. Las cuatro especies se pueden diferenciar utilizando cualquier banda del infrarrojo medio, exceptuando la banda 6 del zarzal que con el valor de diferencia normalizada de 1,19819 se encuentra en el límite de las bandas de separación regular.
- La única especie de tipo herbáceo que muestra posibilidades claras de ser diferenciada respecto a *B. pinnatum* en el infrarrojo medio son los prados y praderas. Esta especie se diferencia en todas las bandas del infrarrojo medio, exceptuando la 4.
- Respecto a las especies de tipo arbóreo, las cuatro especies se pueden diferenciar en todas las bandas del infrarrojo medio.
- En cuanto a las zonas improductivas, la zona improductiva por agua es la única que presenta discriminación y esta discriminación se puede realizar en todas las bandas del infrarrojo medio.

En lo que respecta al **infrarrojo cercano** (banda 3), se observa que cuatro especies pueden ser claramente diferenciadas respecto a *B. pinnatum*. De estas cuatro especies una es de tipo arbustivo (el avellanar) y las otras tres, de tipo herbáceo: el majadal, *Festuca ovina* y los prados y praderas. Conviene destacar que esta banda es la que proporciona una mejor separabilidad entre las diferentes especies de tipo herbáceo estudiadas.

La reflectividad observada en este rango del espectro electromagnético está directamente relacionada con el vigor de la planta, es decir, cuanto mayor sea este valor mayor será también el vigor vegetal. Esto da a entender, al igual que ocurre en el infrarrojo medio, que la causa que hace posible esta diferencia de valores de reflectividad es la necromasa presente en los pastizales de *B. pinnatum*. Esta necromasa al estar seca emite unos valores más bajos de reflectividad e influye en la media de los emitidos por las plantas vigorosas de *B. pinnatum*. Este puede ser el motivo por el cual los valores de reflectancia de *B. pinnatum* sean inferiores a los emitidos por las cuatro especies de las que se puede diferenciar.

Por último, tenemos las bandas del **espectro visible**. En ellas se observa que las especies coníferas y la especie acebeda de tipo arbustivo, son las únicas que muestran diferencias significativas respecto a *B. pinnatum* (aunque la acebeda únicamente se puede diferenciar en la banda 2). Los valores de reflectividad de las especies coníferas y la acebeda son más bajos que los de *B. pinnatum*, ya que, en esta época, manifiestan una mayor actividad fotosintética que absorbe la energía incidente.

Esta mayor actividad fotosintética se entiende por la relación entre las diferentes fechas de los ciclos fenológicos de las especies y la fecha de adquisición de la imagen. La imagen fue adquirida en primavera tardía (08/05/2010), por lo que la mayoría de las especies arbustivas y herbáceas ya no presentan una actividad fotosintética tan alta, en cambio las especies coníferas que comienzan en esta época su desarrollo de primavera, se encuentran en plena actividad fotosintética, por lo que tienen valores más bajos de reflectividad. Cabe comentar que la acebeda también es una especie que comienza su desarrollo en primavera tardía. Este es el motivo por el cual, estas cuatro especies pueden diferenciarse en esta época utilizando las bandas del visible.

En las figuras 15 y 16 se puede apreciar de forma visual la separación de los valores de reflectividad en el espectro visible entre la acebeda y *B. pinnatum* por un lado, y las coníferas y *B. pinnatum* por otro.

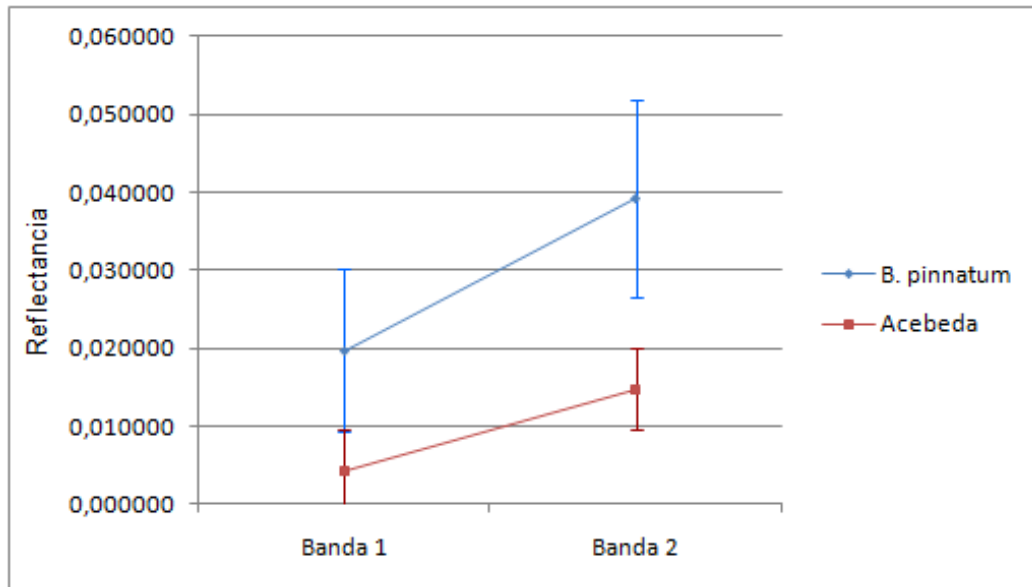


Figura 15. Comparación de firmas espectrales de las bandas del visible, acebeda y *B. pinnatum*.

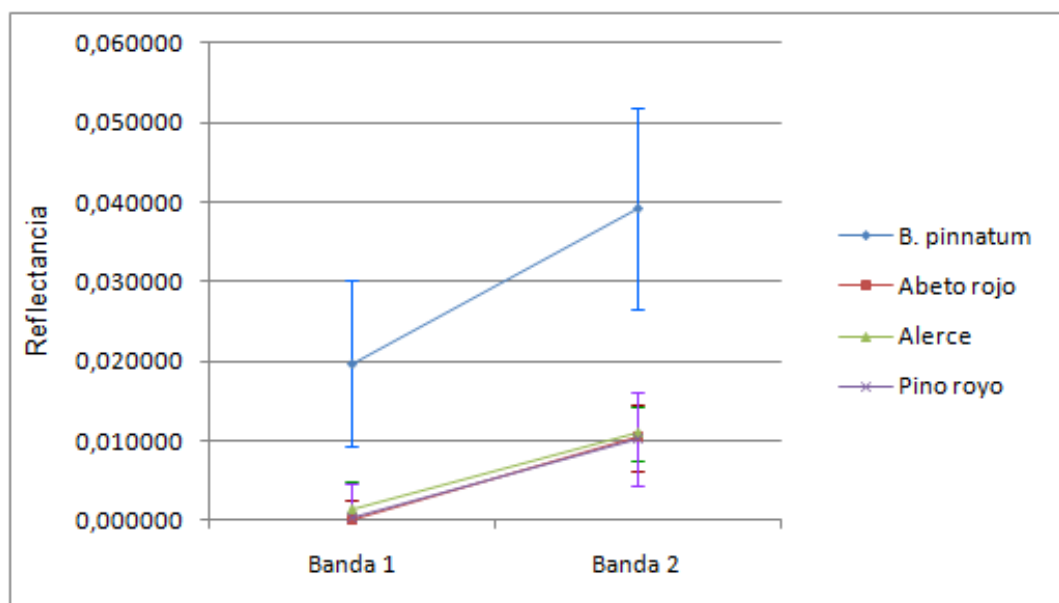


Figura 16. Comparación de firmas espectrales de las bandas del visible, coníferas y *B. pinnatum*.

Como se aprecia en las figuras 15 y 16, las coníferas pueden diferenciarse tanto en la banda 1 como en la banda 2 y la acebeda en cambio, únicamente puede diferenciarse en la banda 2.

5.4 Discriminación de bandas.

En la siguiente tabla (Tabla 13), se muestra de forma resumida las bandas que se pueden utilizar para diferenciar de forma óptima *B. pinnatum* de las diferentes especies estudiadas.

Tipo	Especie	Bandas de alta discriminación	Bandas de regular discriminación
Arbustos	• Acebeda	2,5,6,7,8,9	-
	• Argomal	-	-
	• Avellanar	3,5,6,7,8,9	-
	• Bojeral	-	-
	• Enebral	-	-
	• Espinar	-	-
	• Matorral de otabera	5,6,7,8,9	4
	• Retamar	-	-
	• Zarzal	5,7,8,9	3,6
Herbáceas	• Majadal	3	-
	• <i>Agrostis curtisii</i>	-	5,6,7,8
	• <i>Festuca ovina</i>	3	6
	• <i>Festuca rubra</i> y <i>Agrostis capillaris</i>	-	-
	• Prados y praderas	3,5,6,7,8,9	2
Helechal	• Helechal	-	-
Arbóreas	• Hayedo	5,6,7,8,9	-
	• Abeto rojo	1,2,4,5,6,7,8,9	-
	• Alerce	1,2,4,5,6,7,8,9	-
	• Pino royo	1,2,4,5,6,7,8,9	-
Improductivo	• Improductivo afloramientos	-	-
	• Improductivo agua	4,5,6,7,8,9	2

Tabla 13. Bandas en las que se puede realizar la diferenciación entre las especies y *B. pinnatum*.

CONCLUSIONES

6. Conclusiones

En base a los resultados obtenidos se pueden extraer las conclusiones que se enumeran a continuación:

1. Respecto al porcentaje de especies capaces de diferenciarse respecto al *Brachypodium pinnatum*, las de tipo arbustivo y sobre todo el helechal presentan una baja separación, las de tipo herbáceo una separación media y las especies arbóreas una separación total.
2. Las bandas del infrarrojo medio (bandas 4 a 9) son las que presentan una mayor capacidad de separación.
3. En lo que respecta a las especies herbáceas, la región espectral del infrarrojo cercano (banda3) presenta una mayor capacidad de diferenciar el *B. pinnatum*.
4. Las especies de tipo arbóreas y la acebeda (de tipo arbustivo), son las únicas que se pueden diferenciar mediante las bandas del visible (bandas 1 y 2).
5. La banda con mejor separación media es la banda 8.
6. La especie con mejor separación media es el alerce con una diferencia normalizada media de las diferentes bandas de 2,30925.
7. La especie con menor separación media es el boj con una diferencia normalizada media de las diferentes bandas de 0,17086.
8. La necromasa presente en los rodales de *B. pinnatum*, puede ser la principal característica que dé lugar a una respuesta diferente respecto a otras herbáceas. Por lo que, hay que tener muy en cuenta esto, en futuros trabajos de teledetección de esta especie.
9. La técnica estudiada es muy dependiente del estado fenológico y fisiológico de las especies. Por lo que, los resultados y conclusiones obtenidos en este trabajo no se pueden generalizar para cualquier época del año. En este sentido, parece que el mes de mayo puede ser una época adecuada aunque sería necesario realizar un estudio multitemporal de mayor entidad para identificar la época óptima del año para la detección del *B. pinnatum*.
10. Especies como el boj y el helecho presentan un comportamiento espectral casi idéntico al del *B. pinnatum*. En consecuencia la identificación de *B. pinnatum* en zonas en las que abunden estas especies parece complicada.

Bibliografía

BIBLIOGRAFÍA

- Aerts R. & Chapin F. S., 2000. The mineral nutrition of wild plants revisited: a re-evaluation of processes and patterns. *Advances in Ecological Research*, **30**:1-67.
- Aizpuru I., Aseginolaza C., Uribe-Echebarria, Urrutia P. & Zorrakin I., 1999. Claves ilustradas de la flora del País Vasco y territorios limítrofes. *Gobierno Vasco*.
- Anderson G.L., Everitt J.H., Richardson A.J. & Escobar D. E., 1993. Using satellite data to map false broomweed (*Ericameria austrotexana*) infestations on south Texas rangelands. *Weed Technology*, **7**: 865-871.
- Bobbink R., 1991. Effects of nutrient enrichment in Dutch chalk grassland. *Journal of Applied Ecology*, **28**: 28-41.
- Bobbink R. & Willems J. H., 1991. Impact of different cutting regimes on the performance of *Brachypodium pinnatum* (L.) Beauv. In Dutch chalk grassland. *Biological Conservation*, **56**: 1-21.
- Bobbink R. & Willems J. H., 1993. Restoration management of abandoned chalk grassland in the Netherlands. *Biodiversity and Conservation*, **2**:616-626.
- Bobbink R. & Willems J. H., 1997. Increasing Dominance of *Brachypodium pinnatum* (L.) Beauv. In Chalk Grasslands: A Threat to a Species-rich Ecosystem. *Biological Conservation*, **40**, 301-314.
- Buckland S.M., Thompson K., Hodgson J. G. & Grime J.P., 2001. Grassland invasions: effects of manipulations of climate and management. *Journal of Applied Ecology*, **38**, 301-309.
- Chuvieco E., 1990. Fundamentos Teledetección Espacial. *Ediciones Rialp*.
- Cronk Q. & Fuller J., 1995. Plant invaders. The threat to natural ecosystems. *Biodiversity and Conservation*, **7**: nº2. 267-269.
- Davis M.A., Grime J. PH. & Thompson, 2000. Fluctuating resources in plant communities: a general theory of invasibility. *Journal of Ecology*, **85**: 528-534.
- During H.J. & Willems J.H., 1984. Diversity models as applied to a chalk grassland. *Vegetatio*, **57**:103-114.

- De Lara I. & Soriano J., 1986. Aplicaciones de la teledetección al estudio del impacto de canteras. *Revista de obras públicas*, 867-871.
- Ferrer V. & Canals R.M., 2008. Proyecto de Ordenación de los Recursos Pascícolas Forestales del Monte Aizkoa nº1 del C.U.P. Documento Interno Gobierno de Navarra.
- Garcia-Pausas J., Casals P., Camarero L., Huguet C., Sebastià M. T., Thompson R & Romanyà J., 2007. Soil organic carbon storage in mountain grasslands of the Pyrenees: effects and topography. *Biogeochemistry*, **82**: 279-289.
- Grime J. P. & Curtis A. V., 1976. The interaction of drought and mineral nutrient stress in calcareous grassland. *Journal of Ecology*, **64**:976-998.
- Hanstein S., Mattsson M., Jaeger H. & Schjoerring J.K., 1999. Uptake and utilization of atmospheric ammonia in three native Poaceae species: leaf conductances, composition of apoplastic solution and interactions with root nitrogen supply. *New Phytol* , **141**:71-83.
- Heywood V.H., 1989. Patterns, extent and modes of invasions of terrestrial plants. In Drake J.A. & Mooney H.A.(eds.) *Biological invasions: a global perspective*; 31-55. John Wiley. Nueva York.
- Hurst A., 1997. Community dominance: an investigation into the competitive mechanisms of *B. pinnatum* and possible methods of reducing its dominance on ancient chalk grassland. *D. Phil. Thesis, University of Sussex, Sussex*.
- Hurst A. & John E., 1999. The biotic and abiotic changes associated with *Brachypodium pinnatum* dominance in chalk grassland in south-east England. *Biological Conservation*, **88**:75-84.
- Hurst A. & John E., 1999. The effectiveness of glyphosate for controlling *Brachypodium pinnatum* in chalk grassland. *Biological Conservation*, **89**: 261-265.
- Jauzion P. 1998. Des espèces naturalisées en France méditerranéenne. *6ème Symposium Medit. EWRS* 19-25. Montpellier. France.
- Martínez J. & Martín M.P., 2010. Guía didáctica de teledetección y medio ambiente.
- Raymond Hunt E., Everitt J.H, Ritchie J. C., Moran M. S., Booth D. T., Anderson G. L., Clark P. E., & Seyfried M. S., 2003. Applications and research Using Remote Sensing for Rangeland Management. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **69**: nº6. 675-693.

- Richardson, A.J., Escobar D.E., Gausman H.W., & Everitt J.H., 1981. Use of Landsat-2 data technique to estimate silverleaf sunflower infestation. *Proceedings of Machine Processing of Remotely Sensed Data Symposium*. Purdue University, West Lafayette, Indiana. 676-683.
- Rysser P. & Lambers H., 1995. Root and leaf attributes accounting for the performance of fast-and slow-growing grasses at different nutrient supply. *Plant and Soil*, **170**: 251-265.
- Sanz-Elorza M. & Sobrino E., 2002. Plantes Vasculars del quadrat UTM 31TCF34, Cambrils. *Institut d'Estudis Catalans, Secció de Ciències Biològiques*.
- Sanz-Elorza M. & Dana E. & Sobrino E., 2004. Atlas de las Plantas Alóctonas invasoras en España. *Dirección General para la Biodiversidad. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid*.
- Sanz-Elorza M. & Dana E. & Sobrino E., 2006 Plantas Alóctonas invasoras: un nuevo problema ambiental. *Revista Ambiente Abril*. 56-60.
- Schellber J., Hill M.J., Gerhards R., Rothmund M., & Braun M., 2008. Precision agriculture on grassland: Applications, perspectives and constraints. *European Journal of Agronomy*, **29**: 59-71.
- Schläpfer F. & Fischer M., 1998. An isozyme study of clone diversity and relative importance of sexual and vegetative recruitment in the grass *Brachipodium pinnatum*. *Ecography*, **21**: 351-360.
- Tardif F. J. & Leroux G. D., 1990. Rhizome bud viability of Quackgrass (*Elytrigia repens*) treated with glyphosate and quizalofop. *Weed Technology*, **4(93)**:529-523.
- Van der Hoeven E. C., de Kroon H., & During H. J., 1990. Fine scale spatial distribution of leaves and shoots of two chalk grassland perennials. *Vegetatio*, **86**: 151-160.
- Williamson M. & Fitter A., 1996. The varying success of invaders. *Ecology*, **77(6)**:1661-1666.
- Willems J.H., 2001. Problems, Approaches, and Results in Restoration of Dutch Calcareous Grassland During the Last 30 Years. *Restoration Ecology*, **9**: nº2. 147-154.

PAGINAS WEB

- De Candolle, Ascherson, Rikli, Thellung & Holub et al. El Atlas de Plantas invasoras de España. Capitulo II.
- www.mma.es/secciones/biodiversidad/inventarioslinb/atlas_aloctonas/pdf/c2_atlas.pdf.
- Fernández-Muerza A., 2010. www.ecoticias.com/red/agencias
- Heredia L., Álvarez C.C. & Ortega J., 2007. Estudio Bitemporal de la Deforestación en la República Dominicana usando Sensores Remotos. <http://agora.unapec.edu.do/LibroYrvin.pdf>.
- Ibáñez, J.J. 2009. Suelos y vegetación de la Región Biogeográfica de Clima Templado Marítimo en Europa. www.madrimas.org.
- Junta de Andalucía. 2010.
http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/documentos_tecnicos/inedita/introduccion0.pdf
- Murillo R. E. 2002. Procesamiento digital de imágenes.http://www.everyoneweb.es/WA/DataFilesemurillofacgeo/E_CORRECCIONES.pdf
- Universidad Nacional de Rosario.
<http://www.fcagr.unr.edu.ar/mdt/GTS/Zonaedu/sensat1.htm>
- Vargas Gonzáles C. www.rs-geoimage.com
- Vivancos J., Llastarri A., Grau M. & Vivancos D. 2005. Dirección internet: <http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material121/index.htm>

ANEXOS

Tabla de valores medios de reflectividad.

	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 6	Banda 7	Banda 8	Banda 9
Acebeda	0,004329	0,014712	0,291439	0,170988	0,078221	0,078174	0,070817	0,04731	0,029852
Argomal (Ulex sp.)	0,013991	0,030977	0,264186	0,203274	0,097675	0,099842	0,090739	0,062148	0,038795
Avellanar (Corylus avellana)	0,014636	0,026792	0,308371	0,197676	0,090548	0,091884	0,082365	0,052156	0,033312
Bojeral (Buxus sempervirens)	0,030291	0,047015	0,281145	0,198798	0,106009	0,11108	0,102165	0,071887	0,045156
Enebral	0,020972	0,035878	0,289254	0,19982	0,094851	0,095543	0,089162	0,061712	0,036735
Espinar (Crataegus monogyna)	0,012122	0,026541	0,25713	0,178236	0,088198	0,089426	0,082077	0,056121	0,034409
Hayedo (Fagus sylvatica)	0,017706	0,020648	0,295869	0,164384	0,078282	0,076201	0,070813	0,047325	0,027307
Helechal	0,01765	0,034855	0,273056	0,213803	0,102939	0,105623	0,096103	0,065948	0,041183
Improductivo afloramientos	0,034676	0,053106	0,256892	0,227045	0,12642	0,131838	0,120133	0,088653	0,058317
Improductivo agua	0,01665	0,019404	0,220376	0,117881	0,06653	0,06639	0,056332	0,033416	0,018523
Majadal (Poa annua)	0,01569	0,022691	0,349884	0,195538	0,086954	0,087013	0,081581	0,054442	0,032116
Matorral de otavera (Genista occidentalis)	0,015156	0,024606	0,293664	0,162567	0,075621	0,072345	0,066125	0,04516	0,027696
Pastizal de Agrostis curtisii	0,011976	0,034683	0,21862	0,180453	0,089747	0,091533	0,082794	0,057749	0,037573
Pastizal de Brachypodium spp.	0,019582	0,037359	0,263397	0,213468	0,105264	0,107793	0,098421	0,068115	0,042209
Pastizal de Festuca ovina gr.	0,020866	0,033056	0,326057	0,19437	0,090126	0,08971	0,08356	0,058618	0,035325
Pastizal de Festuca rubra gr. y Agrostis capillaris	0,014831	0,026613	0,317282	0,199825	0,092403	0,09304	0,085515	0,057759	0,034839
Plantación de abeto rojo (Picea abies)	0,000151	0,01047	0,175857	0,107742	0,063232	0,056391	0,054815	0,036861	0,022782
Plantación de alerce (Larix kaempferi)	0,001454	0,010947	0,182989	0,108459	0,060749	0,054139	0,053848	0,035425	0,02099
Plantación de pino royo (Pinus sylvestris)	0,000273	0,010207	0,172947	0,099088	0,057494	0,049229	0,04828	0,032044	0,019529
Prados y praderas	0,015213	0,018557	0,367219	0,171086	0,076568	0,074221	0,069551	0,045121	0,024339
Retamar (Cytisus scoparius)	0,016358	0,031867	0,284358	0,187653	0,092711	0,093469	0,084132	0,059201	0,034671
Zarzal (Rubus sp.)	0,013996	0,0235	0,325235	0,183527	0,085058	0,084241	0,077192	0,052252	0,029589

Tabla de diferencia normalizada de los valores de reflectividad, entre los datos de *B. pinnatum* y los de las demás especies.

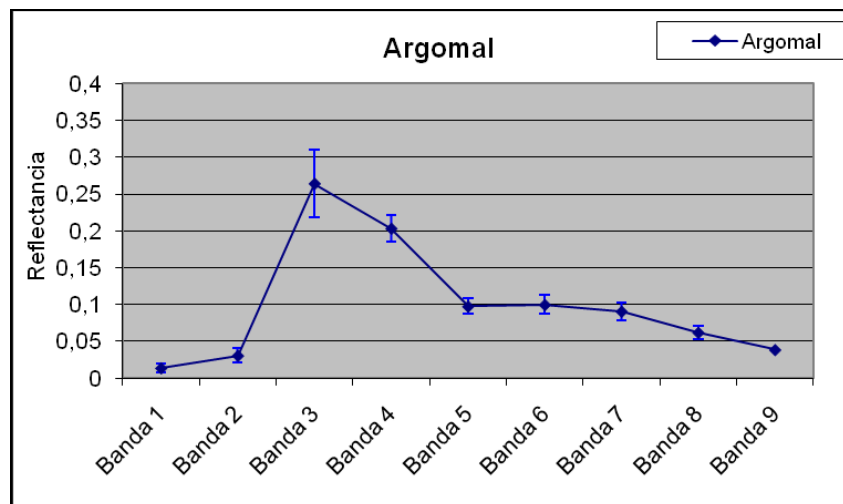
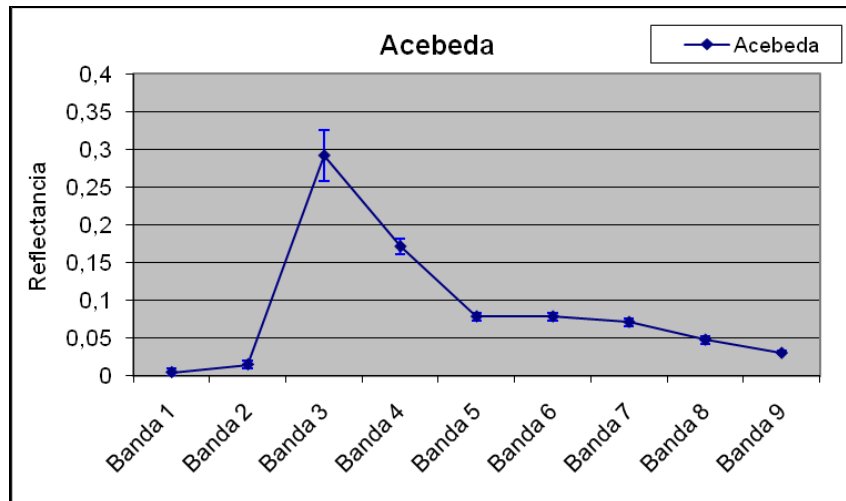
La media en vertical refleja la separación media entre *B. pinnatum* y cada especie.

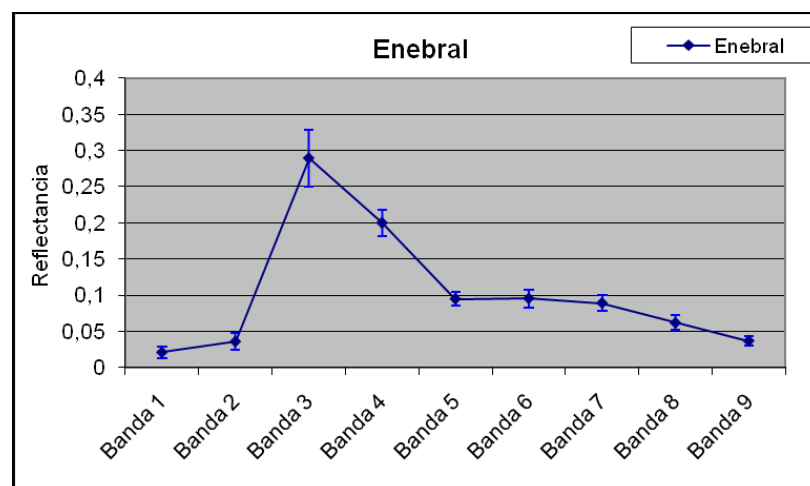
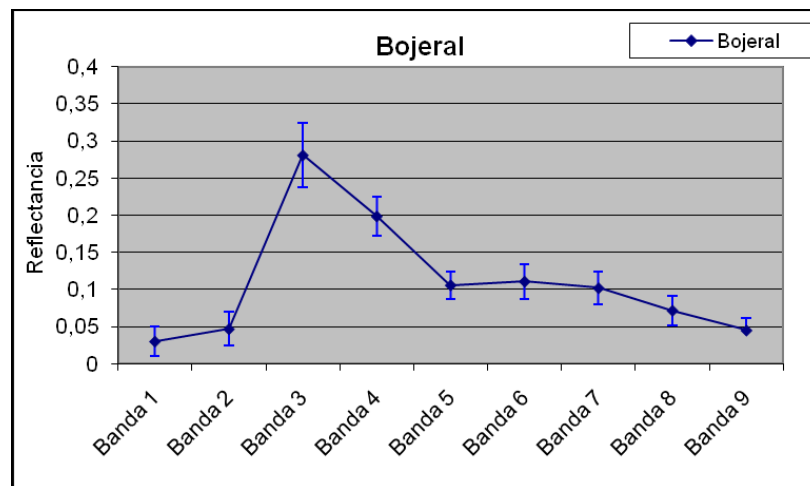
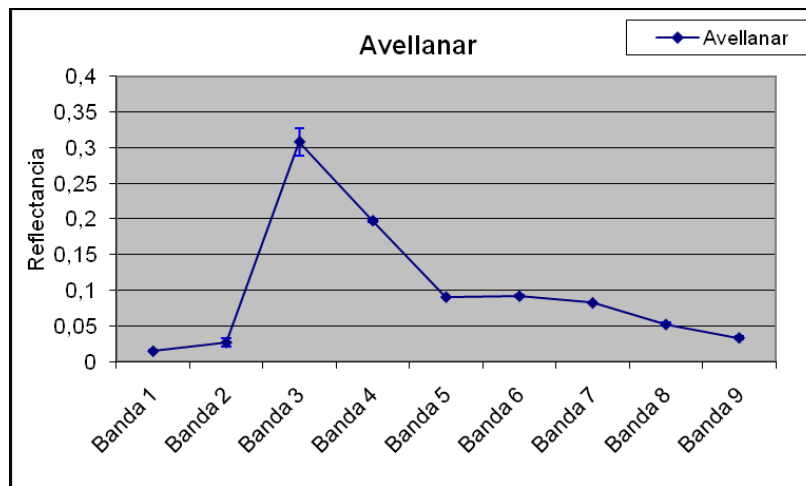
La media de bandas se refiere a la separabilidad media en cada banda, teniendo en cuenta todas las especies.

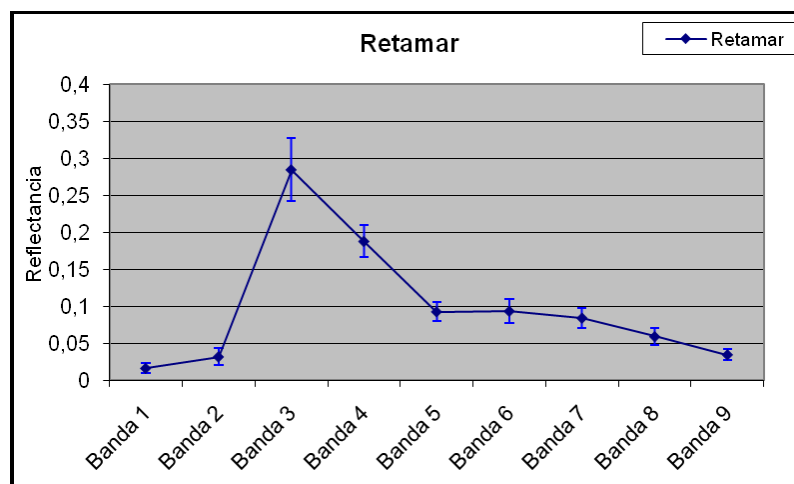
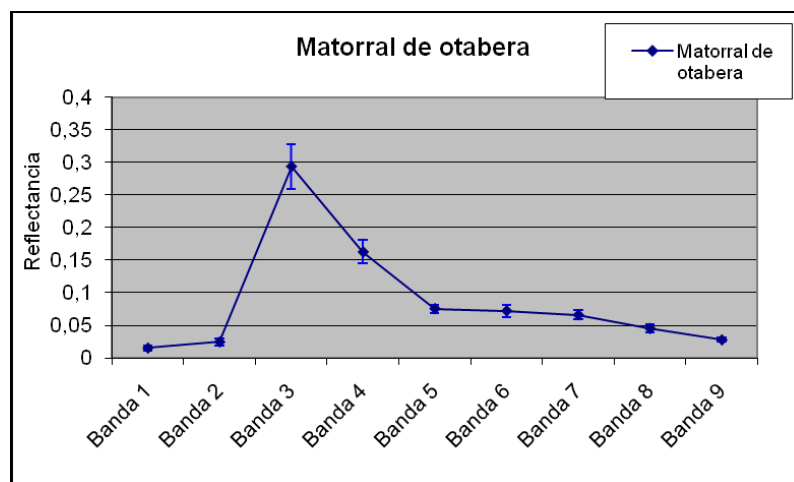
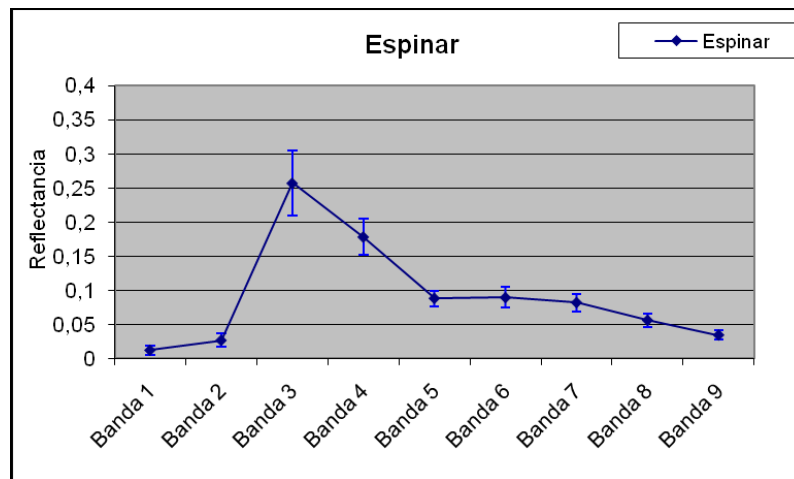
	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 6	Banda 7	Banda 8	Banda 9	MEDIA
<i>B. pinnatum</i> / Acebeda	0,98349	1,36801	0,80087	0,97975	1,93467	1,85947	1,93309	1,88308	1,60891	1,48348
<i>B. pinnatum</i> / Argomal	0,34217	0,36322	0,37309	0,13940	0,49518	0,43504	0,49409	0,52879	0,42522	0,39958
<i>B. pinnatum</i> / Avellanar	0,42119	0,66006	1,28605	0,39152	1,61740	1,28993	1,61075	1,95935	1,48607	1,19137
<i>B. pinnatum</i> / Bojeral	0,34648	0,22481	0,58645	0,20120	0,07211	0,00291	0,01328	0,03396	0,05652	0,17086
<i>B. pinnatum</i> / Enebral	0,06900	0,13156	0,71728	0,21288	0,65781	0,61241	0,59736	0,52637	0,57898	0,45596
<i>B. pinnatum</i> / Espinar	0,45495	0,55934	0,28612	0,56581	0,90794	0,78127	0,83720	0,83698	0,78640	0,66845
<i>B. pinnatum</i> / Hayedo	0,11310	0,94874	0,75568	0,94811	1,49982	1,44795	1,51418	1,60229	1,53917	1,15212
<i>B. pinnatum</i> / Helechal	0,12092	0,17974	0,50612	0,07395	0,20902	0,18093	0,22227	0,25988	0,19306	0,21621
<i>B. pinnatum</i> / Improductivo afloramientos	0,51370	0,39333	0,29212	0,28643	0,53960	0,50056	0,51104	0,60400	0,64053	0,47570
<i>B. pinnatum</i> / Improductivo agua	0,17304	1,16525	0,12219	1,93409	2,40888	2,20053	2,62346	3,00954	2,80461	1,82684
<i>B. pinnatum</i> / Majadal	0,20469	0,70248	1,31161	0,27654	0,98390	0,88408	0,80807	0,91111	0,84446	0,76966
<i>B. pinnatum</i> / Matorral de otavera	0,32794	0,80687	0,83180	1,00386	1,95057	1,73868	1,97668	1,84731	1,85722	1,37122
<i>B. pinnatum</i> / Pastizal de Agrostis curtisii	0,54821	0,26202	0,21275	0,73436	1,18667	1,01860	1,14888	1,19730	0,80765	0,79071
<i>B. pinnatum</i> / Pastizal de Festuca ovina gr.	0,06668	0,28214	1,20853	0,35890	0,96344	1,08081	0,99676	0,85423	0,74066	0,72802
<i>B. pinnatum</i> / Pastizal de Festuca rubra gr. y Agrostis capillaris	0,26754	0,52104	0,95423	0,20512	0,68627	0,65751	0,68691	0,72688	0,66367	0,59658
<i>B. pinnatum</i> / Plantación de abeto rojo	1,54341	1,70110	0,79418	2,55090	2,72026	2,63182	2,45120	2,66706	2,67121	2,19235
<i>B. pinnatum</i> / Plantación de alerce	1,31718	1,76280	0,65926	2,54335	3,04684	2,89345	2,65427	3,03433	2,87181	2,30925
<i>B. pinnatum</i> / Plantación de pino royo	1,33485	1,56151	0,80120	2,30871	2,70115	2,62325	2,58880	2,72326	2,56098	2,13375
<i>B. pinnatum</i> / Prados y praderas	0,28613	1,03145	1,59601	0,94888	1,70112	1,67773	1,72334	1,92697	2,02261	1,43492
<i>B. pinnatum</i> / Retamar	0,19582	0,29711	0,63211	0,43934	0,66161	0,61073	0,72430	0,62589	0,69569	0,54251
<i>B. pinnatum</i> / Zarzal	0,39053	0,78845	1,06988	0,62168	1,26071	1,19819	1,28935	1,38749	1,48719	1,05483
Media de bandas	0,47719	0,74814	0,75226	0,84404	1,34309	1,25361	1,30501	1,38791	1,30203	

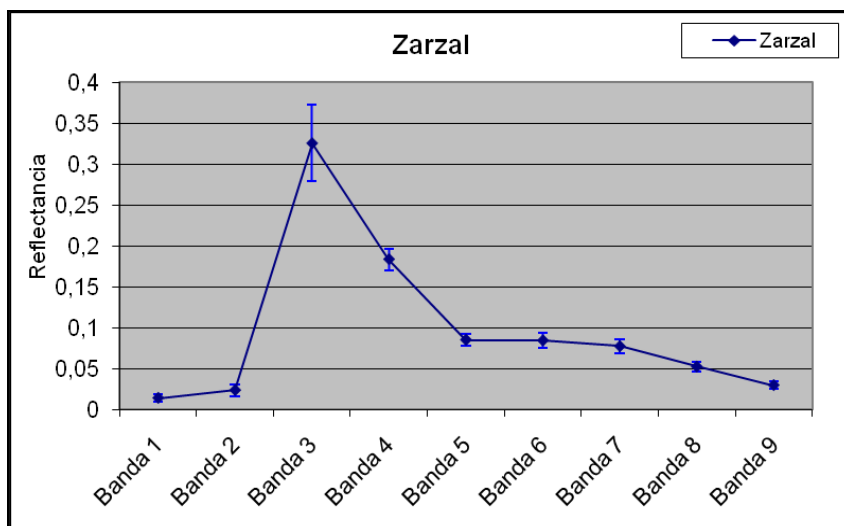
Signaturas espectrales obtenidas para cada especie.

A) Pastos arbustivos

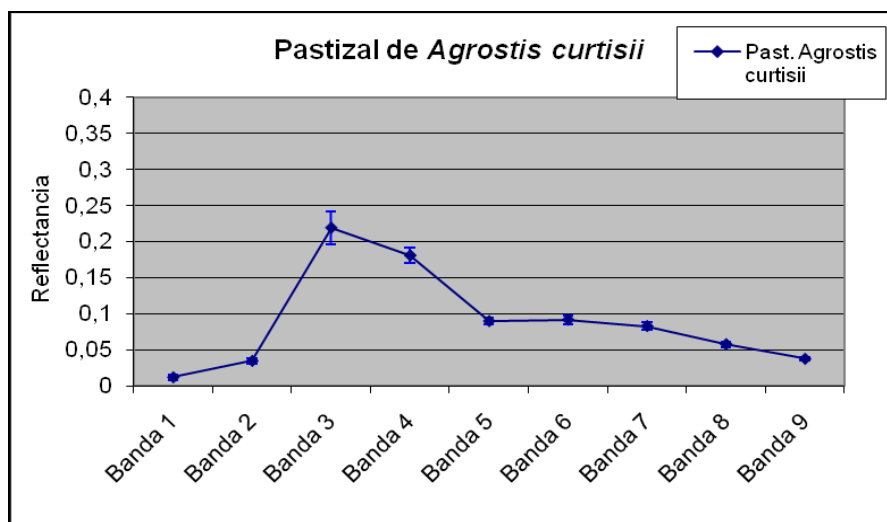
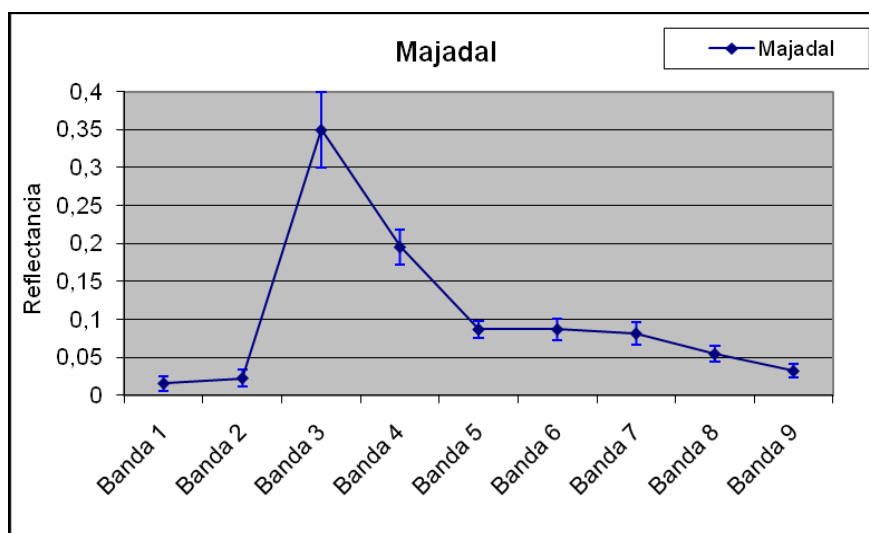


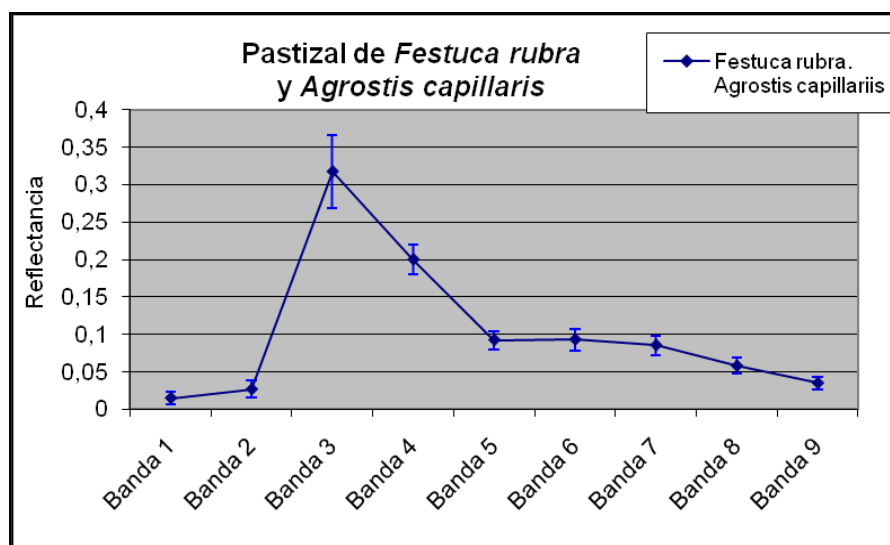
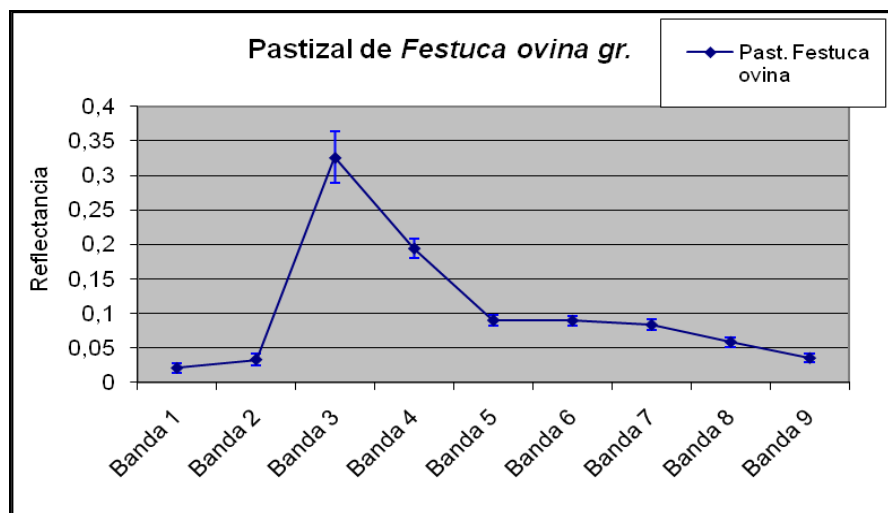
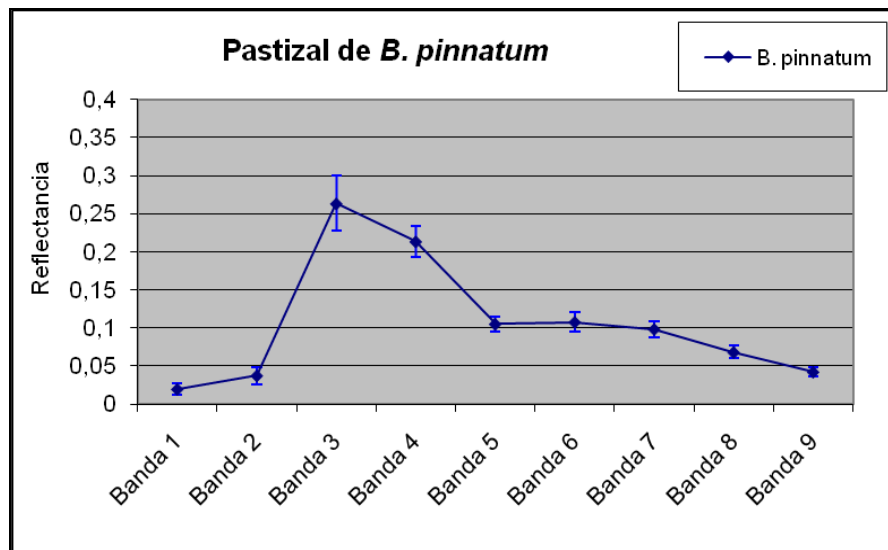


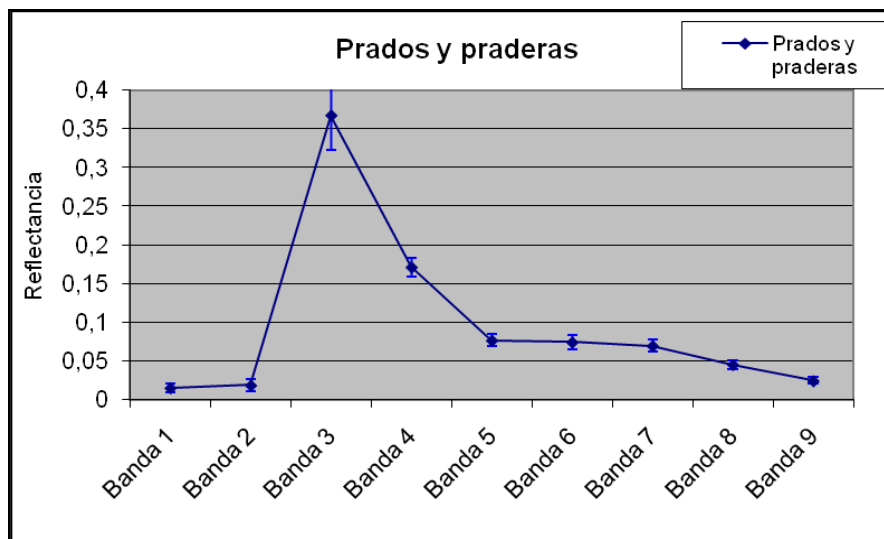




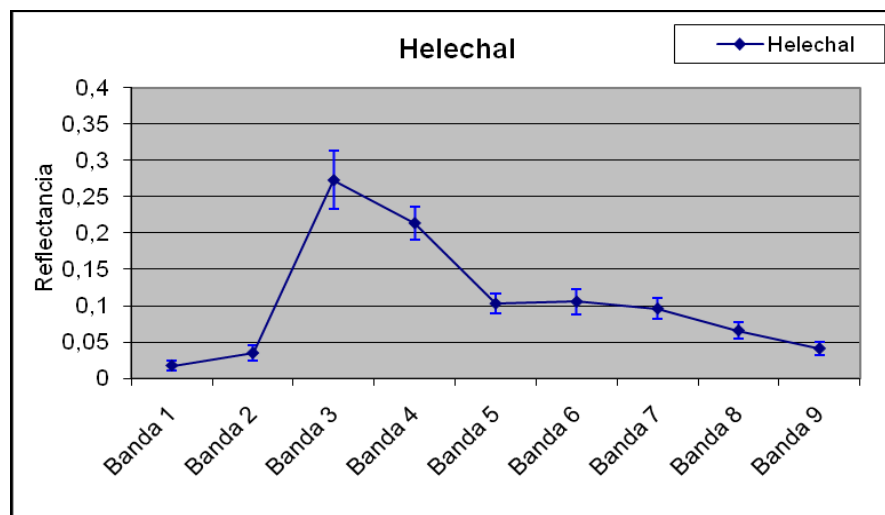
B) Pastos herbáceos



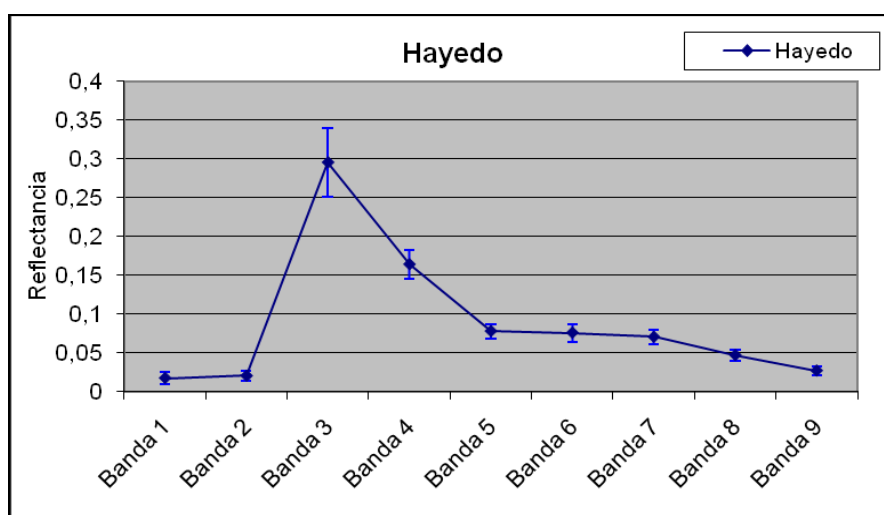


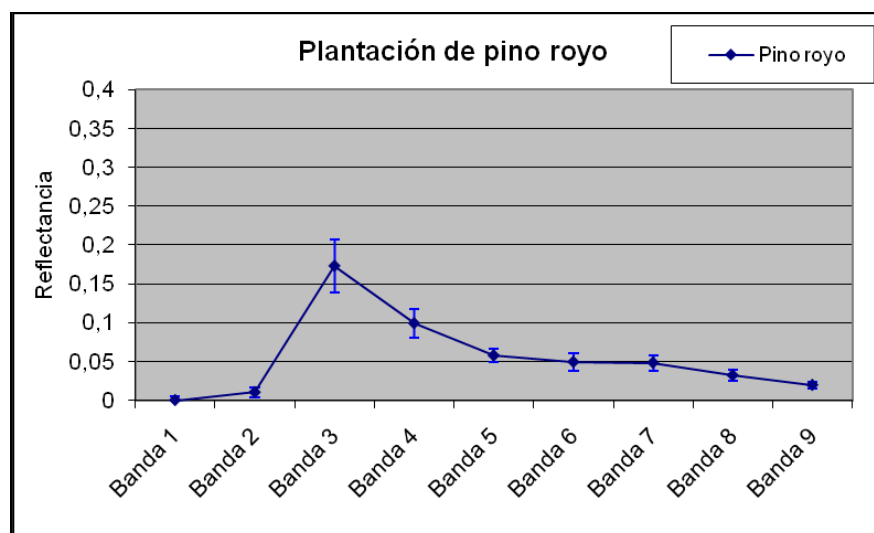
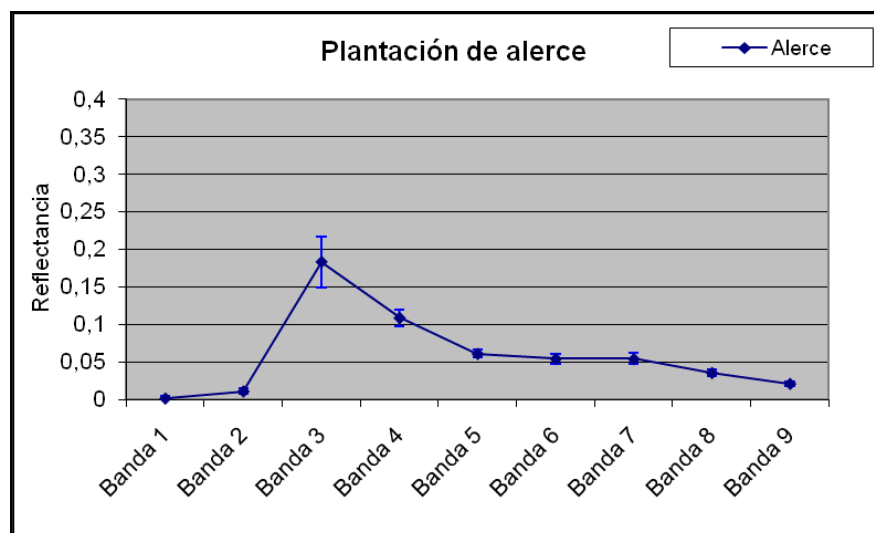
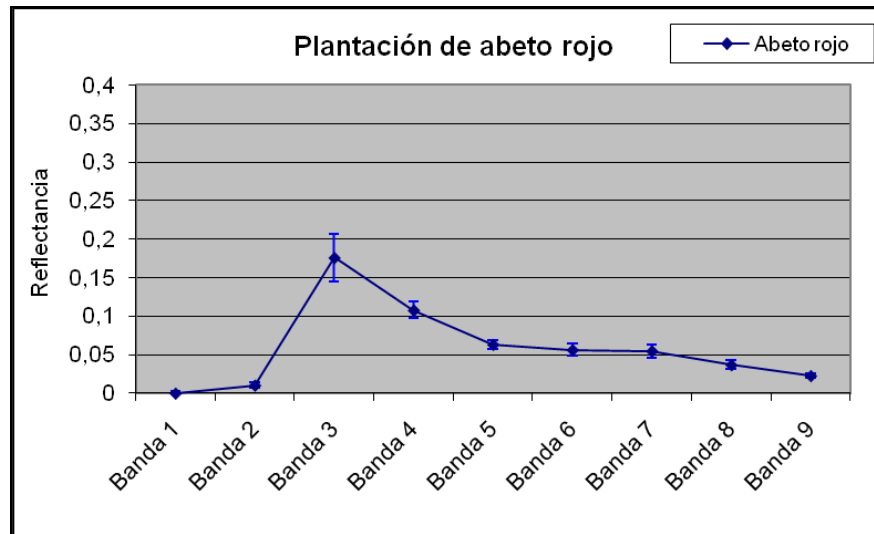


C) Helechal



D) Arbóreas





E) Improductivos

